裂谷盆地石油地质

谯汉生　于兴河　主编

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书编入了分布在我国周边（东北亚与东南亚）的裂谷盆地及具有代表性的全球大型裂谷深层等28个盆地的石油地质资料，主要包括盆地的区域地质及其构造演化、含油气性、主要油气田及其开发情况等内容，并对大型裂谷深层油气藏的地质特征进行了归纳总结，探讨了裂谷盆地勘探开发中存在的问题以及给我国油气勘探开发的启迪。希望能给石油地质学家、勘探家和广大的专业读者带来新的视角、新的思路和新的信息。

本书可供从事油气田勘探开发、尤其是海外油气田勘探开发的地质科技人员及广大石油、地质院校的师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

裂谷盆地石油地质/谯汉生主编.
—北京：石油工业出版社，2004.7
ISBN 7－5021－4585－0

Ⅰ.裂…
Ⅱ.谯…
Ⅲ.大陆裂谷－含油气盆地－石油天然气地质
Ⅳ.■P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字（2004）第013922号

出版发行：石油工业出版社
（北京安定门外安华里2区1号楼　100011）
网　址：www.petropub.com.cn
总　机：(010) 64262233　发行部：(010) 64210392
经　销：全国新华书店
印　刷：石油工业出版社印刷厂印刷

2004年7月第1版　2004年7月第1次印刷
787×1092毫米　开本：1/16　印张：27
字数：690千字　印数：1—1200册

书号：ISBN 7－5021－4585－0/TE·3209
定价：80.00元

《裂谷盆地石油地质》编委会

前　　言

巍峨的群山与浩瀚的海洋是地球上显现出的最为宏伟的地貌景观。而在群山与海洋之间的广阔地带，即从山前到大陆边缘——起伏的丘陵、连绵的平原、纵横的江河湖泊与一望无际的海洋之下，却往往隐伏着世人难以想像的狭长而深陷的谷地，而且它们大多数或大部分已为沉积物或火山岩充填，这些就是地质学家通常称谓的裂谷或裂谷盆地。

裂谷（Rift Vally）一词，首先由Gregory（1894）提出，用以描述东非地区那种有火山和地震活动的狭长而深陷的大型断陷湖盆。后来，Burke（1980）将裂谷定义为“整个岩石圈在伸展中破裂了的地域上的狭长坳陷”。显然，这个认识率先将裂谷的形成过程与地壳的伸展联系在一起，并且在一定程度上赋予了裂谷在地壳结构与地球动力学上的科学内涵。裂谷研究发展到今天，大多数地质学家和地球物理学家几乎都有一个共识：这就是裂谷是地壳在伸展减薄过程中形成的狭长而深陷的大型断陷构造，并且对应于这种在地壳中上部产生的断陷构造，在其下方的地壳深部，普遍存在着莫霍面与上地幔的隆起。

100多年来，地质学的研究与发展，尤其是最近二三十年，随着裂谷构造、裂谷盆地沉积充填的研究和裂谷盆地中矿产资源的开发与利用，特别是在全球范围内广泛而深入地开展起来的油气资源勘探与利用，大大促进了裂谷盆地综合勘测技术方法和裂谷盆地石油地质理论认识的飞速发展。

当代国内外学者对裂谷盆地的研究，主要集中在裂谷盆地形成的地球动力学机制、裂谷盆地分类学、裂谷盆地层序地层学和裂谷盆地成藏动力学及油气分布方面；并且先后有大量的论文和专著问世。归结起来，比较集中探讨的问题有如下几个方面。

一、裂谷盆地形成的地球动力学机制

裂谷盆地形成的地球动力学机制，一般可以归结为地壳的拉张、挤压及剪切三种主要的构造应力；实际上许多裂谷盆地的形成，都与复杂的构造作用转换与成盆过程有关。

1. 地壳拉张论：裂谷是地幔软流圈主动上涌、形成上地幔隆起、引起地壳热扩张和产生拉张断陷的结果。这就是说，上地幔隆起是其形成的主动应力，地壳的伸展减薄和拉张断陷是上地幔隆起的被动响应，故属于主动裂谷生成模式。

2. 地壳挤压论：地壳受到挤压，产生地表隆起和地壳增厚；挤压应力松弛或停止，岩石圈与软流圈密度差使重力不稳，造成地幔拆沉和岩石圈减薄，从而引起地壳伸展塌陷成为裂谷。这种裂谷成因机制，也有人称其为“去山根”模式。

3. 地壳走滑拉分论：地壳受到不均衡挤压，常沿其薄弱部分产生大型的走滑断裂带，而沿走滑断裂带的多旋回强烈剪切活动，势必在走滑断层的端部形成拉分断陷，并引起上地幔物质和中、下地壳软流层物质沿断裂带向上涌溢，从而产生裂谷盆地。这就是说，地壳走滑拉分是其主动应力，而地幔隆起和地壳伸展减薄是强烈走滑拉分断陷的被动响应，属于比较典型的被动裂谷生成模式。

从以上三种不同的裂谷形成机制可以看出：地壳的伸展减薄是形成裂谷盆地的必要条件。但是，地壳的伸展减薄系何种起因、又何时在裂谷成盆演化过程中起成控作用，则必须根据裂谷的具体情况做具体分析，不可一概而论。同时，任何地质体受力到一定程度时，都

会在不同的空间方向上分别产生挤压、拉张和剪切的形变，而且这些形变始终都会受到地球重力的影响。因此许多裂谷盆地在形成过程中都不是单独的某种构造应力在起作用，而是多种作用综合的结果。总之，由于裂谷盆地的地质结构和地球动力学机制比较复杂，需要有先进的科学技术手段和拥有大量的反映裂谷地质构造的实际地质和地球物理资料信息，才能做出比较符合客观实际的判断。

二、裂谷盆地分类

裂谷盆地分类法主要有全球构造分类和构造成因分类两种。目前广为流行的全球构造裂谷盆地分类法主要是遵循板块构造离散或聚敛的活动规律，按裂谷盆地所在的板块构造位置，把裂谷盆地分为稳定大陆边缘裂谷系列和活动大陆边缘裂谷系列。

稳定大陆边缘裂谷系列为：陆内裂谷（板内）⟶陆缘裂谷（陆壳）⟶边缘海裂谷（过渡壳）⟶原洋裂谷（包括小洋盆和洋中脊裂谷等洋壳型）。

活动大陆边缘裂谷系列为：陆内裂谷（板内）⟶弧后裂谷（陆壳）⟶弧间裂谷（过渡壳）。

由此不难看出，全球构造裂谷系列的盆地分类有明显的规律性，即从大陆板块内部开始到板缘，再到大洋板块，裂谷出现的位置从大陆内部移向大洋内部，裂谷的地壳伸展程度逐渐增强，地壳逐渐变薄，热流逐渐升高，沉积物由陆相渐变为海相，沉积物的时代愈来愈新，最终裂谷的基底由陆壳渐变为过渡壳或洋壳。

此外，裂谷盆地的构造成因分类法，也常为一部分学者采用。常见的主要划分方法是将裂谷盆地划分为主动裂谷、被动裂谷、拉分裂谷、碰撞裂谷等等。

三、裂谷盆地层序地层

层序地层学是20世纪80年代后期由Exxon公司的Vail等人创立并发展起来的，国内也仅是最近10多年来才开始研究，是处于发展过程中的一门科学，其研究范围是地球发展史上的时间域和空间域，基本理论是具有陆架坡折背景的沉积层序展布规律。层序作为一个地质单元，其上、下界面均为不整合面，内部由低位体系域、海进体系域、高位体系域或陆架边缘体系域组成。层序地层学起初是在稳定的大陆边缘背景上建立起来的，后来许多学者发现其“经典”模式在一些研究区并不适用，于是就不断地修改已有的模式或提出新的模式。目前，主要有三大学派：P. R. Vail等的经典层序地层学；Galloway的成因层序地层学；T. A. Cross的高分辨率层序地层学。从裂谷盆地分类来讲，目前主要有三类模式。

1. **大陆边缘裂谷模式**：当海平面急剧下降并且下降速率大于构造沉降速率时，海水退到陆架边缘之下的沉积为低位体系域的产物，以深切谷充填、三角洲间湾、低位三角洲、滑塌、河谷充填、三角洲前缘、盆底浊积岩、盆底扇边楔为主；如果海平面下降速率小于陆架边缘处的构造沉降速率，未导致海平面下降，或者由于海平面缓慢下降，内陆架暴露侵蚀而外陆架仍然出现缓慢沉积，以构成陆架边缘体系域沉积；之后海平面出现上升，当海平面上升速率大于构造沉降速率而引起海水漫过大陆架时，形成海进体系域，以近海陆棚、海岸带砂、深切谷充填、河口湾□湖、沼泽与湖泊等沉积为主，并在海盆或湖盆沉积中发育深水还原相沉积的烃源岩；随着海平面升高，相对上升减慢，在沉积物供给速率维持原状时，单位时间内产生的可容纳空间减少，则由浅海相和非海相沉积组合的岸线向盆地方向推进，从而形成高位体系域沉积，以河流平原、三角洲、海岸平原、海岸带砂、近海粉砂和泥为主，发育砂岩类储集岩。

2. **陆内裂谷盆地模式**：裂谷初期由于总体处于裂谷断陷分割性较强、入湖水系不发育

和近源快速堆积状态，发育以冲积扇、膏盐、火山岩等为代表的沉积物充填类型：早期陡坡主要形成冲积扇，缓坡则为滨岸沉积和碳酸盐岩沉积；中期陡岸主要形成近岸水下扇；晚期陡坡主要形成水进型扇三角洲。深陷扩张期湖盆范围广大，水体达到最深，因此在深湖—半深湖背景下，斜坡带发育了各种扇体，洼陷带则充填了大量色深质纯的湖相泥岩与浊积岩：早期陡坡边缘形成近岸水下扇，缓坡形成斜坡扇或远岸浊积扇，可发育下切谷，洼陷区则发育有半深湖泥岩沉积；中期陡坡主要形成水下扇，当后期断裂活动与前期发生分叉或出现断阶时，水下扇的前端则多可形成近岸浊积扇；晚期在陡坡发育了水退型扇三角洲，与初期一样在其前端有时可以发育远岸浊积扇，缓坡主要形成正常细粒河控三角洲。到了抬升收缩期，构造运动使得盆地再次整体抬升，湖盆逐渐变浅。物源供给充足，斜坡带发育了各种三角洲或扇体；洼陷带则主要沉积色浅质杂的泥质岩类。

3. 大洋裂谷盆地模式：无论是以浅海沉积还是以深海沉积为特征，其沉积物供给水平均可分为过充填、均衡充填、欠充填和饥饿型。沉积过充填和均衡充填类型表现为砂—泥—砂三重序列的沉积充填总特征，代表了裂谷高峰期；沉积欠充填类型表现为砾岩、砂岩—泥岩的双重演变特征，而饥饿型盆地一般表现为泥岩的单一特征，两者均代表了随后的裂谷期或稳定期。

四、裂谷盆地油气成藏及其分布

裂谷盆地是否含有具商业价值的石油和天然气是其研究与勘探的焦点，裂谷盆地虽然普遍含有一定的煤、岩盐、石膏、硅藻土、油页岩和含稀有元素的卤水等自然资源，但是只有当它具有了一定规模的可开采利用的石油和天然气资源量时，才可以大大提升研究和勘探开发裂谷盆地的经济价值和社会效益。

从全球范围来看，大多数裂谷盆地具有优越的油气成藏条件，包括：高沉积速率，多旋回还原环境下沉积的富含有机质的泥页岩层，多物源的三角洲砂体与浊积岩体，高温高压生成并向泄压带排驱运移的烃类，多种类型同生背斜圈闭与地层岩性圈闭等。因此，大多数中、新生代的裂谷盆地都含有丰富或比较丰富的油气资源，尤其是三叠纪到古近纪之间所形成的大型裂谷，其含油气总量和丰度更为可观。此外，还有一部分二叠纪形成的古裂谷盆地，经过沉积间断，晚期坳陷下沉而被深埋，长期处于低温高压条件下，仍可赋存较丰富的石油。少数新近纪（或渐新世）以来才形成的年轻裂谷盆地，处于高温高压条件下，主要产出天然气；而且还有一些年轻的裂谷盆地，可能由于烃源岩未成熟或强烈的新构造运动，虽然经过勘探但至今尚未发现有经济价值的石油或天然气。

含油气的裂谷盆地中，油气藏类型相当丰富多彩，可达数十种之多。常见的油气藏类型有基岩油气藏、披覆背斜油气藏、逆牵引（滚动）背斜油气藏、拱张背斜断块油气藏、盐背斜断块油气藏、挤压与逆冲背斜断块等构造油气藏；同时还存在大量的浊积砂体、河道砂体、生物礁滩、火山岩体等多种类型的岩性油气藏，以及地层不整合油气藏等。在不同类型构造与沉积特征的裂谷盆地内，主要的油气藏类型常常是有区别的。

《裂谷盆地石油地质》一书，编入了分布在世界各地的裂谷盆地 28 个，主要分布在东北亚、东南亚、非洲、欧洲及美洲。而我国的裂谷盆地因已有大量文献报导，未收入本书。全书共约 69 万字。

为了高质量地编成此书，在编著和编译过程中，曾经查阅、整理、编著和编译过的中外论文与著作共计 545 篇，达 500 万字之巨。经过 10 多位编者和编译者两年多的辛勤工作，最终浓缩和升华成此书。但愿此书能给石油地质学家、勘探家和广大的专业读者带来新的视

角、新的思路、新的信息和工作上的便利。

由谯汉生、于兴河两位教授提出编著与编译本书的技术思路与基本要求，并负责全书的统稿与审定。先后参加本书编著和编译工作的有：于兴河、谯汉生、李胜利、郜建军、马兴祥、龙胜祥、朱庆荣、郑秀娟、张兴权等。参加人有申春生、张辉彩、刘丽峰等；另外，感谢刘琴同志为本书做了大量的录入工作，陈增智博士、袁选俊高级工程师、施和生高级工程师、陈昭年副教授提供了大量的研究资料与帮助。本书的编写还得到了“科技部国际科技合作重点项目计划（2002cb713906）”的资助。

值此书即将问世之际，谨向支持和帮助此书编著出版的刘振武、方朝亮、罗治斌、李先奇等诸位先生表示诚挚的谢意！

谯汉生　于兴河

2003 年 12 月

目　　录

第一章　东北亚裂谷盆地 …… (1)

第一节　阿纳德尔盆地 …… (1)

第二节　贝加尔裂谷系 …… (17)

第三节　吉雅—布列亚盆地 …… (26)

第四节　科曼多尔盆地 …… (31)

第五节　上布列亚盆地 …… (39)

第六节　东萨哈林—鄂霍茨克盆地 …… (50)

第二章　东南亚裂谷盆地 …… (68)

第一节　北苏门答腊盆地 …… (68)

第二节　打拉根盆地 …… (84)

第三节　库泰盆地 …… (98)

第四节　湄公三角洲盆地 …… (113)

第五节　南苏门答腊盆地 …… (125)

第六节　萨拉瓦蒂盆地 …… (140)

第七节　泰国湾盆地 …… (156)

第八节　西北巴拉望盆地 …… (173)

第九节　西爪哇盆地 …… (188)

第十节　中苏门答腊盆地 …… (203)

第三章　大型裂谷盆地 …… (211)

第一节　英荷盆地 …… (211)

第二节　马拉开波盆地 …… (239)

第三节　加蓬海岸盆地 …… (257)

第四节　尼日尔三角洲盆地 …… (268)

第五节　奥特尼瓜盆地 …… (284)

第六节　索马里盆地 …… (296)

第七节　桑托斯盆地 …… (311)

第八节　下刚果盆地 …… (324)

第九节　西南非洲海岸盆地 …… (335)

第十节　锡尔特盆地 …… (345)

第十一节　红海裂谷盆地 …… (365)

第十二节　东非裂谷盆地 …… (372)

第四章　大型裂谷深层油气藏 …… (376)

第一节　全球深层裂谷系油气富集规律 …… (376)

第二节　温、压与油气成藏关系 …… (398)

第三节　裂谷盆地岩浆岩的岩石学和地球化学特征 …… (413)

第一章　东北亚裂谷盆地

这里所指的东北亚是包括贝加尔湖以东、我国松辽盆地以北的亚洲地区，该区分布着20多个沉积盆地，其中发育的裂谷盆地有：阿纳德尔、贝加尔裂谷系、吉雅—布列亚、科曼多尔、上布列亚、东萨哈林—鄂霍茨克等，它们在盆地规模、形成时间、沉积岩厚度及其含油气性各个方面均存在着较大的差异。

第一节　阿纳德尔盆地

阿纳德尔（Anadyr）盆地位于俄罗斯远东马丹州楚科奇自治区阿纳德尔分区，面积72 500km²，其中55 000km²位于白令海域大陆架，占盆地面积的四分之三；17 500km²位于陆上的楚科奇半岛低洼地域（图1—1—1），盆地内沉积厚度可达8 000m。

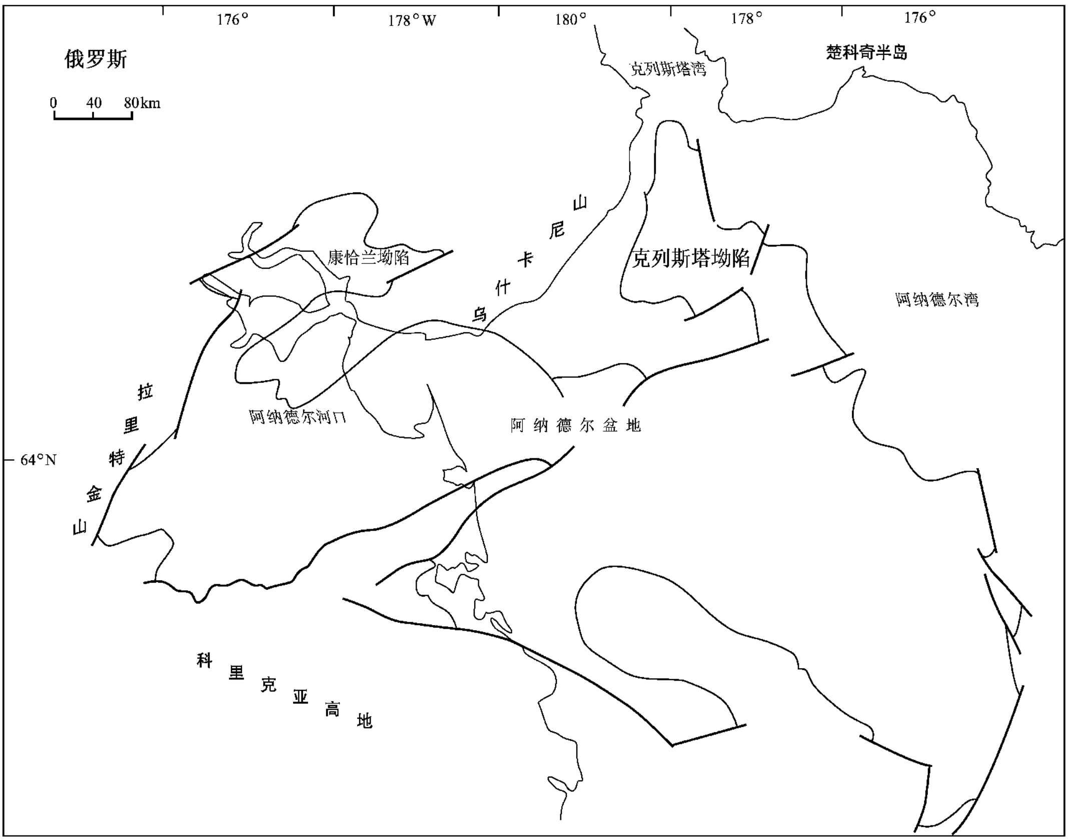


图1—1—1　阿纳德尔盆地地理位置图（引自Marat Modelevsky等，1994）

盆地在构造上位于欧亚大陆东北部活动边缘，处于科里亚克—勘察加（Koryak－Kamchatka）褶皱冲断带范围内，周围山脉向盆地冲掩，其成因与断裂的转换作用有关。

一、区域地质

阿纳德尔盆地内充填了海相、滨岸相和陆相沉积。盆地可分为北、中、南三个构造—地层带（图 1—1—2）**，其相应的面积分别为** 28 500km² 、30 500km² **和** 13 500km²**，南带的沉积厚度最大。盆地形成始于白垩纪末，以中新世沉降规模最大，在上新世至今发生构造挤压运动。**

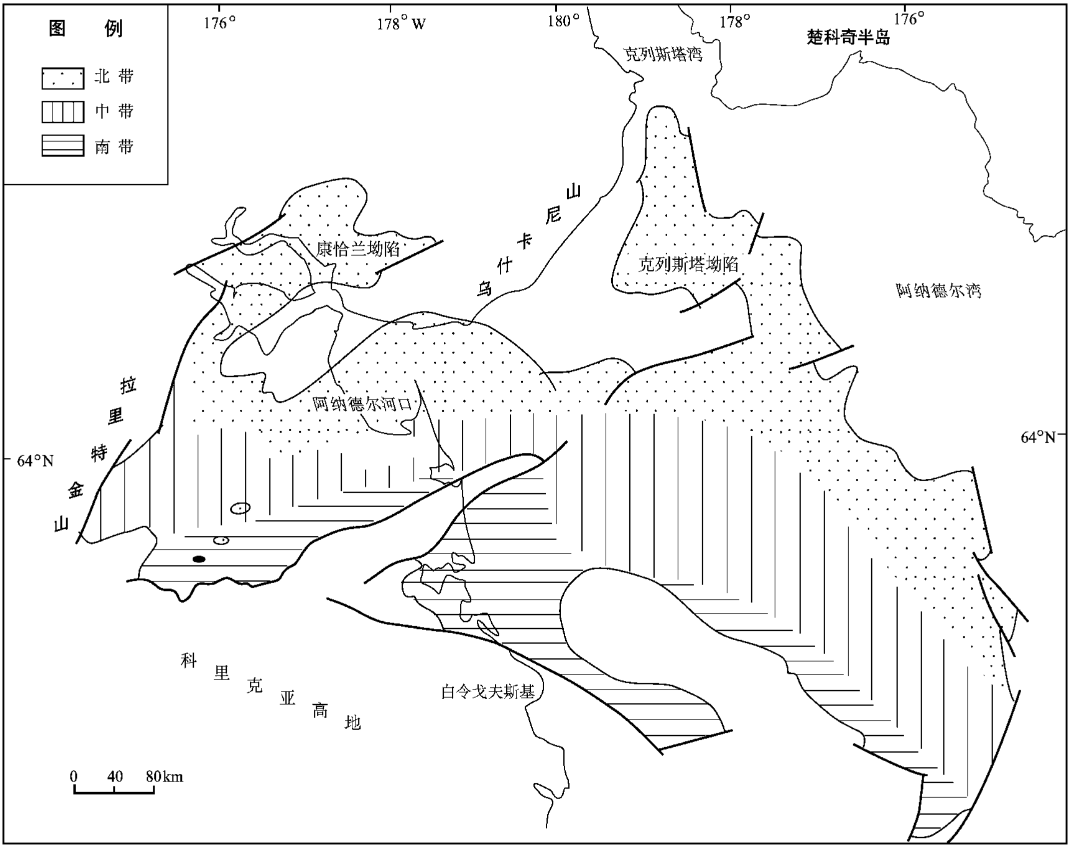


图 1—1—2 **阿纳德尔盆地构造—地层分区图（引自** Marat Modelevsky **等，**1994）

1. 盆地演化

一般而言，沉积盖层的构造可反映出如下主要演化阶段：地槽阶段（基底形成期）、转换阶段（反转：同生裂谷期）和造山阶段（坳陷和压缩期）。最下部的变质单元由一系列复理石和火山岩地层组成；中部转换（反转）单元为火山岩地层；上部单元标志着欧亚大陆边缘的造山阶段，其间自始新世以来开始形成陆地与海域的分异。

1）**前裂谷基底形成期：晚侏罗世至早白垩世**（150—75*Ma*）

阿纳德尔盆地是在白垩纪末欧亚大陆活跃边缘处开始形成的，从而导致古老复合体发生构造和变质作用，因此，未获得关于前中生代演化的资料。通常认为前寒武系、古生界及三叠系变质岩块是大陆碎块、褶皱带和岛弧演化过程中增生在大陆边缘的地体（Marlow，Cooper **和** Childs，1993）。

在地槽型海相坳陷中形成的中生代层序由蚀变的海相火山碎屑、复理石和花岗岩类侵入体组成。中生代晚期（150—70Ma）**，库拉板块与欧亚大陆碰撞，引起欧亚大陆东北部构造**

复活。复理石堆积于深海坳陷中并随后在白垩纪末期褶皱、冲断，拼接了深海燧石质火山岩和岛弧火山岩地体，形成了盆地基底。

到白垩纪末（75—70Ma），由于欧亚板块和太平洋板块的碰撞而发生缝合与挤压，在麦斯特里希特（?）至达宁期发生差异垂向运动，在总体上升背景下形成一些地堑（裂谷），地堑中堆积了以陆相为主的含煤碎屑沉积物。

2）同生裂谷期：晚白垩世至古新世早期（75—60.2*Ma*）

晚白垩世缝合事件之后，差异垂向运动导致拉张裂谷作用，出现了差异垂向运动期，其特点是在总体隆起的背景下产生显著沉降，形成巨大的洋边地堑，边界为倾向大洋的铲状断层。

白垩纪末至早古新世是裂谷形成时期，形成一些倾向滑动断块、裂谷台阶、裂谷以及盆地边缘铲状断层和逆断层。新生界之下的地堑边界断层资料尚未获得。目前仅在盆地局部边缘沿拉里特金（Rarytkin）复背斜带见到白垩纪构造。

同生裂谷期以沉积于大洋边地堑的拉里特金组（麦斯特里希特阶（Maustrichtian）—丹麦阶）陆相含煤层系为代表，与上覆新生代地层呈角度不整合接触。

3）坳陷期：晚古新世至上新世（60.2—5*Ma*）——盆地的拉张与下陷

古新世晚期至始新世，盆地拉张与重力沉降作用形成一些坳陷，即宽阔的地堑、半地堑和低凸起等。坳陷中堆积了 Tanyurer 组火山碎屑岩，主要有安山玄武岩和安山凝灰岩，夹煤系地层，厚达 2 000m。此组主要发育于盆地北部，向南则渐变为乌斯特奇里纳依组凝灰质沉积。根据沉积环境和成岩后生变化，可认为此火山碎屑岩是典型的盖层沉积，构成了阿纳德尔盆地的基础。

始新世晚期至渐新世，在持续性沉降条件下，形成了麦尼查（Maynitsa）组滨岸、三角洲和陆棚相沉积，在盆地南部厚 2 100m，向北减薄。

中新世，盆地继续伸展下沉，在盆地南部堆积了索博尔基（Soboliki）、加加宁（Gagarin）和阿弗塔库尔组（Avtatkul）含煤碎屑岩，其沉积环境为滨岸平原、□湖和陆棚相，砂体呈透镜状分布。上覆的叶利塞也夫（Yeliseyer）、奥塞拉（Ozera）和埃钦（Echin）组分布更广。总之，中新统呈楔形至透镜状，其沉积中心向南麦尼查海槽迁移，厚度在 200～4 000m。

中新世至上新世，各个孤立的地堑在区域沉降作用下联合形成一个坳陷型沉积盆地，并沿大断裂形成一些倾向滑动断块。

4）挤压期：上新世至今（5—0*Ma*）——盆地挤压隆起、造山和变形成为山间坳陷

上新世末，盆地转化为挤压期，其周边褶皱带抬升造山。由于南面科里亚克（Koryak）高地冲断覆盖在阿德纳尔盆地的沉积盖层之上，以及西面的拉里特金山脉隆起，盆地区转变成山间坳陷，同时发生的挤压运动再次改造了沉积盖层，结果形成一些大型构造，盆地周围褶皱带向盆地边缘仰冲。在此期间沉积的 Gyryochan 组碎屑较粗，由砂岩和砾岩组成。目前，陆上的挤压运动和海上的沉降运动仍在继续进行。

上新世至今，在挤压运动影响下形成一些挤压构造，包括线状断裂背斜构造带、短轴背斜构造、盆地周边山脉的隆起以及向盆地的推覆体。上新统—第四系厚度由 200 m 向海增至 1200 m，粒度变细。此期挤压运动形成了盆内所有的主要背斜。由于整个新生代区域构造活动的影响，地层变形程度上强下弱。

盆地在海陆部分演化具有一致性。由陆至海，地震界面可清晰追踪。地震单元 A 代表

埃钦和 Gyrgochan 组（中新统上部至第四系），B 代表奥塞拉、叶利塞也夫（Yeliseyer）和阿弗塔库尔组（中新统中部），V 代表麦尼查、乌斯特奇里纳依和 Tanyurer 组（古新统）。

自古新世开始在盆地内形成 3 个构造地层带，即北、中、南带。这 3 个带之间在整个新生代都有挠曲带或断裂活动相隔，造成 3 个带具有不同的沉积相。各带中又有坳陷和隆起，如北带有康恰兰（Kanchalan）坳陷、克列斯塔（Kresta）坳陷；中带有维利科钦斯克（Velikorechensk）坳陷、普列拉里特金（Prerarytkin）坳陷和奥兹尔尼（Ozernyy）隆起；南带包括麦尼查（Maynitsa）、拉古尼（Laverent′yev）和普罗托奇（Protochnyy）等坳陷（图 1—1—3）。

2. 地层

盆地地层发育复杂，下面按由北向南的 3 个带进行描述（表 1—1—1）。

1）北带

（1）古近系：古新统和始新统下部 Tanyurer 组，R—19 井揭示最全，以辉石玄武岩、橄榄辉石玄武岩和安山玄武岩为主，砂屑凝灰岩和层凝灰岩，钻厚 2 136m。

在奥涅缅（Onaman）海湾和阿纳德尔河口，始新统至渐新统分 3 个组：①Onaman 组由含细砾杂砂岩、粉砂岩和泥岩组成，夹煤层，厚 300～350 m；②Produktivnaya 组由砂岩组成，夹粉砂岩、泥岩及煤线，厚 200～250 m；③Pervorechenskaya 组由海相细砂岩、粉砂岩和褐色薄煤层组成，厚 400 m。

（2）中新统：以叶利塞也夫（Yeliseyer）组为代表，厚约 70～117 m，以细粒泥质砂岩为主，夹粉砂岩；上覆 Tymnin 组是砂岩、粉砂岩、泥岩和少量褐煤线互层，厚度不超过 650 m。

（3）上新统：上部在康恰兰海槽称为 Gyrgochan 组，由砂岩、粉砂岩、钙质泥岩和褐煤互层组成，厚 600～650 m。在奥涅缅地区叫 Kalinin 组，下部是不等粒砂岩和泥岩互层，上部以砂岩占绝大多数，不存在褐煤夹层。而在邻近的 Vyazkaya、Beregovaya 和 Korolevskay 地区，此组由粉砂岩和煤层组成。此套地层与下伏的接触关系暂不清楚，仅在 Vyazkaya 和亚吉尔（Yagelnaya）组之间见角度不整合。

2）中带

（1）古近系：古新统—始新统下部亚吉尔组是过渡型层序，为火山岩、火山碎屑岩和碎屑岩不等厚互层，单层厚度由几毫米到 10m 以上。利用标准测井，可将该组分成 3 至 7 段，各段厚度 60～480m 不等。本组钻遇厚度最大 1 831m，但据地震推算，在 Velikorechensk 海槽，本组厚达 3 000m。

始新统下—中部乌斯特奇里纳依（Ust—Chirynay）组厚达 500m，为海相沉积，由块状和薄层状泥岩、粉砂质泥岩组成，夹少量复成分钙质砂岩。Mayritsa 组角度不整合在乌斯特奇里纳依组之上，厚约 2 500m，为泥质粉砂岩和泥质砂岩夹泥岩，为海相沉积，可分为两段，一段为粉砂岩，偶夹砂岩和泥岩；另一段基本上为砂岩，少数粉砂岩夹层。所有砂岩和粉砂岩均分选差，富含炭屑并见有砾石。

（2）新近系：沉积于本带整个海域，为典型的海陆交互相沉积，根据岩性、测井和古生物资料，可分成 3 个岩性地层复合体：①下部复合体为索博尔基组，由单一的细砂岩和灰色、绿灰色中砂岩组成，后者分选差，具钙质—绿泥石—沸石胶结物，砂岩不同程度地含有岩屑和玻屑凝灰质碎屑；根据地震资料，下部复合体厚 900～1 100m。②中部复合体为加加宁组，为砂岩与粉砂岩互层，砂岩含量向上增加，而钙质泥岩层数与厚度均向上减少。地层

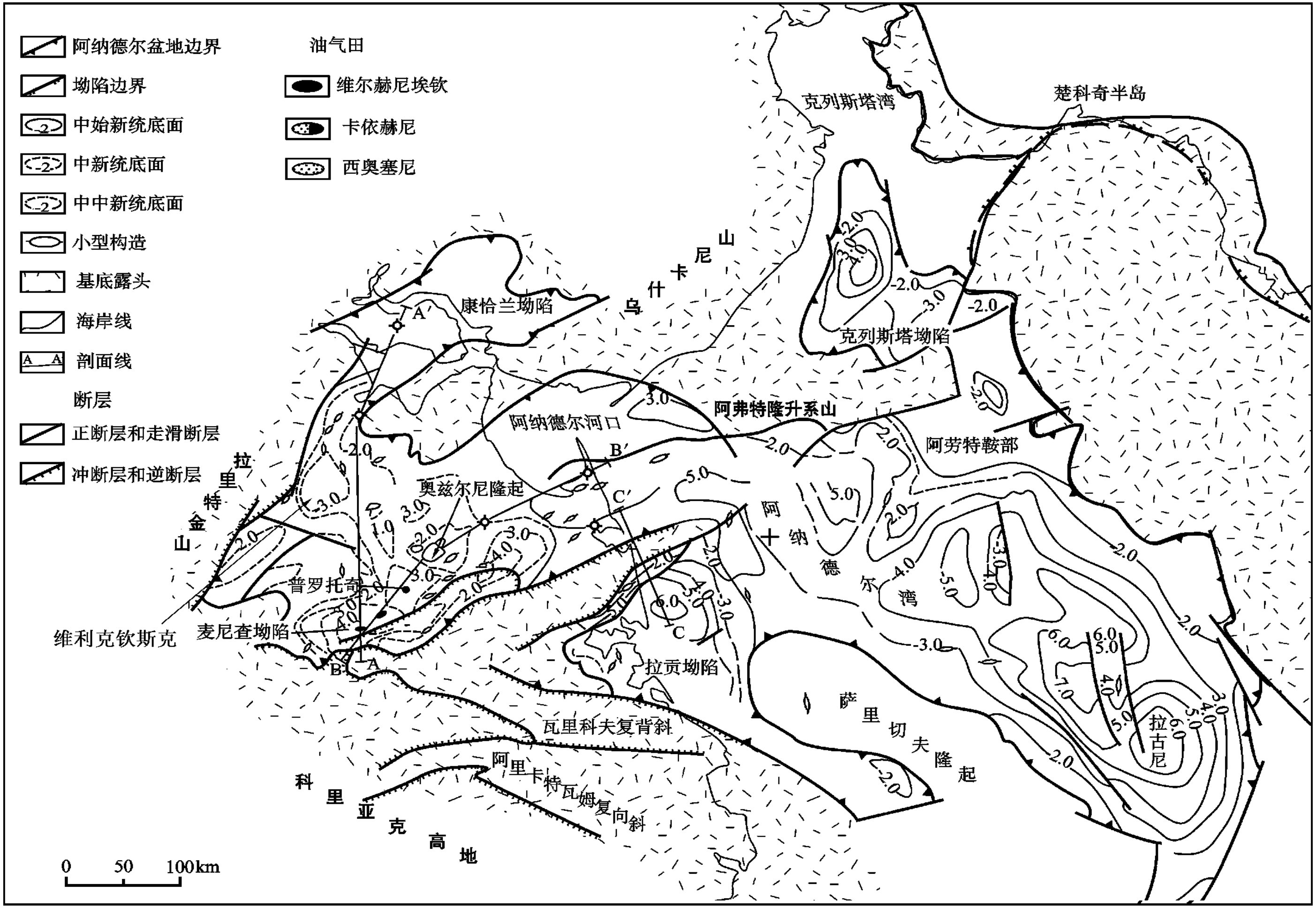
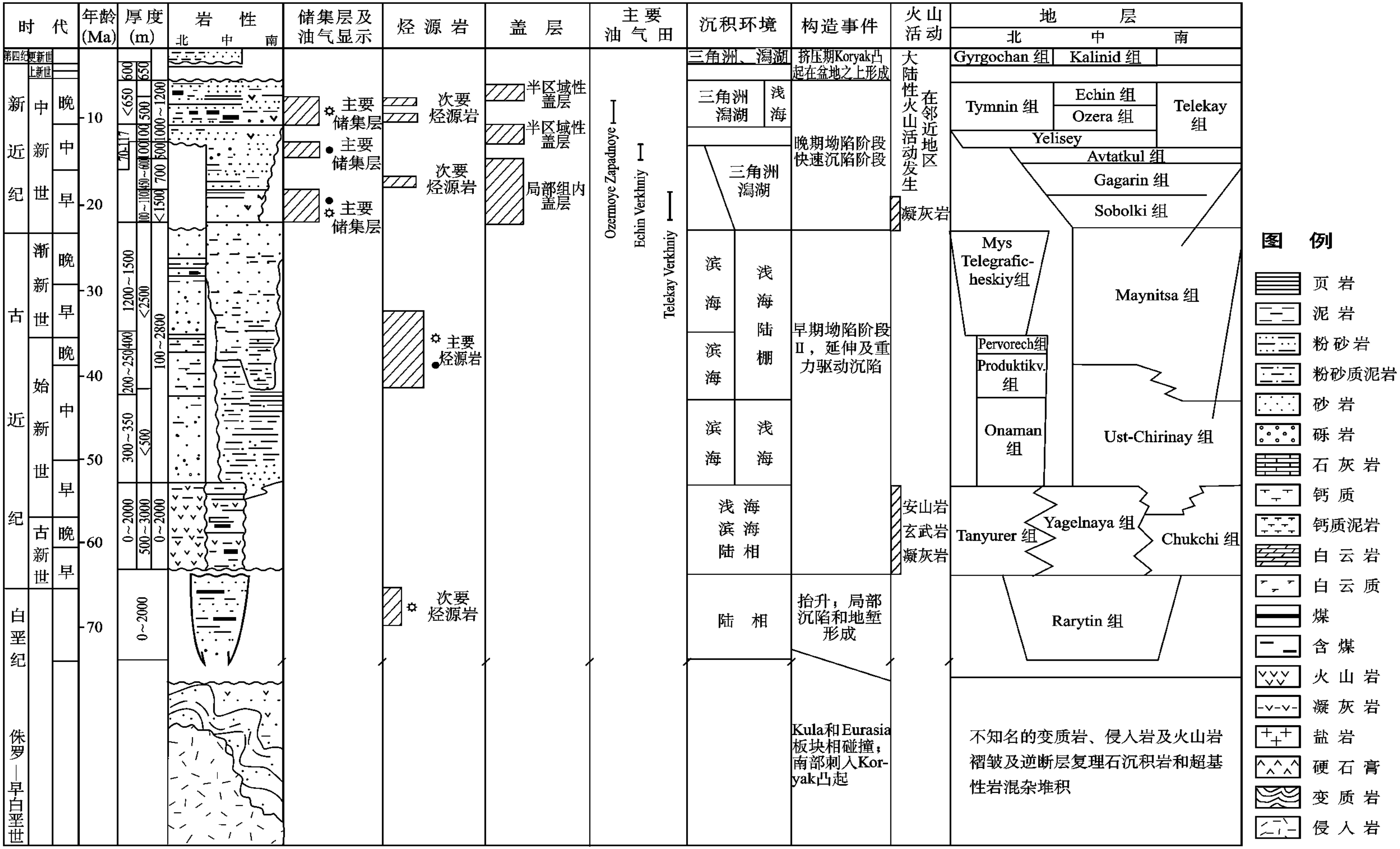


图1—1—3 阿纳德尔盆地构造纲要图（据 D. I. Agapitov，Ye. P. Svistunov，1989）

表 1—1—1　阿纳德尔盆地综合地层（引自 Ye. P. Svistunov，Yu. K. Burlin 等，1989）



总厚不超过 450～600m，向东呈楔形状。③上部复合体包括阿弗塔库尔、叶利塞也夫、奥塞拉和 Euhin 组，为一个构造旋回，可分成 15～17 个厚 30～70m 的主要韵律，每个韵律又由 3～4 个厚度不等的砂岩、粉砂岩、泥岩和煤层互层组成，互层厚几厘米至 5m。通常每个韵律下部为砂岩，顶部为泥岩或煤层；例外的是阿弗塔库尔组，厚 67～144m，由不等粒杂砂岩组成，夹砾岩。上部复合体厚 800～1 600m。

3）南带

发育 1 个古新统岩性—地层复合体和 2 个新近系岩性—地层复合体。

（1）古新统复合体：包括如下各组：①亚吉尔组为陆相、滨浅海至深海相沉积，由砂屑凝灰岩、粉砂岩和钙质泥岩组成，推测在盆地的海域泥岩增多。本组顶底为凝灰岩和玄武岩，在 Lahunnyy 海槽厚 500～2 000m，在百灵煤田厚逾 1 000m。②乌斯特奇里纳依和麦尼查组，广泛分布，在陆地部分为狭窄深海槽沉积，细粒碎屑岩占绝大多数，总体为一海进海退旋回，顶底均为砂岩，中部泥岩—粉砂岩层序代表海进高峰。层序以斜坡沉积、水下滑坡和粗砂岩透镜体为特征。乌斯特奇里纳依组底部为砂岩与砾岩透镜体，向上岩石的粒度逐渐变细，直到以泥质粉砂岩和泥岩为主（占 80%～85%）。麦尼查组顶部为砂岩和粉砂岩。该套地层在海域部分则为地堑深区沉积，从地震资料看，为 G 单元，在南带最厚达 2 000～2 500m。

（2）新近系下复合体：包括中新统下部索博尔基组和加加宁组。索博尔基组在南带层序完整，形成一个灰色、绿灰色由中粒到细粒杂砂岩夹火山碎屑岩的单调层序。砂岩分为长石质杂砂岩和凝灰质杂砂岩，其中长石以中长石为代表，含量不超过 30%，石英含量为 3%～15%。层序的单调性使得横向岩性段及小层很难对比。高密度、火山碎屑成分和高次生变化引起了地层电阻率和速度的变化。本组地震速度为 4 300～4 600m/s，明显高于下伏加加宁组（3 400～3 600m/s），地震推测最深沉积区厚度达 1 500～1 600m，向北减薄。关于本组在海域部分的产状现在不清楚，推测其是地震单元 V 的一部分，但沉积相与陆地部分有别。

加加宁组分布较广，其中捷列卡依—维尔赫尼地区揭示的层序最全，厚 688～737m，自下而上可分为 3 段：第一段为浅灰色细至中粒灰质—泥质砂岩、粉砂岩和泥岩不等厚互层，砂岩和粉砂岩单层厚 1～2m，而泥岩单层厚 0.2～4m，本段总厚 260m；第二段为泥岩、泥质粉砂岩和粉砂岩不等厚互层，偶夹细粒泥质—钙质砂岩（最大厚 2m）和煤层（厚 0.4～0.5m），总厚 210m；第三段为细砂岩和粉砂岩，夹钙质粉砂岩、泥岩及薄煤线。加加宁组沉积中心与早期一致，主要沉积环境为三角洲至洪泛平原。

（3）新近系上复合体：与下伏地层整合接触，包括 2 个组：①阿弗塔库尔组，厚度变化很大，在 Povorotno—捷列卡依带，厚度最大为 608m（埃钦—维尔赫尼地区），向东减薄至 130～150m（捷列卡依—维尔赫尼地区），到 Meyniirulk 地区完全尖灭，而在 Izmennayu 地区厚 140～250m。该组 80%～85%为不等粒凝灰质砂岩，夹粉砂岩、泥岩薄层和砾岩透镜体。砂岩和粉砂岩为灰色和浅灰色，细至粗粒，分选好，常含钙质，具丰富的砾石和火山岩包裹体，发育虫孔和透镜状、夹层状炭化植物碎屑和煤，胶结物有细粒沸石、碳酸盐和绿泥石。②捷列卡依（Telekay）组，分布于全区，地层呈薄水平层，厚 1 000～1 200m，其岩石成分与中带相同，但沉积相更偏海相。

在阿纳德尔盆地海域，上部地震单元厚 1 000～2 000m，对应地层为上新统和中新统上部。地震单元 B 对应中新统下部到中新统上部，厚度不超过 2 000m。

二、大地热流

盆地大地热流估计早期很高，目前有所降低，但仍然较高，导致盆地地温梯度在3.1～3.9℃/100m之间，其中中部地温梯度最高，为3.6～3.9℃/100m。

三、火山活动

在前裂谷期（150—70Ma），由于欧亚大陆东北部与库拉板块碰撞，产生了强烈的火山活动，形成了深海燧石火山岩和岛弧火山岩。

在裂谷发育的早、中期（晚古生世至始新世），在伸展作用下，火山活动主要形成安山玄武岩和安山凝灰岩。

四、含油气性

1. 烃源岩

阿纳德尔盆地沉积层序中烃源岩广泛发育，其主要产出层位有上白垩统至古新统的拉里特金组、始新统至渐新统的麦尼查组及中新统的加加宁组、阿弗塔库尔组和奥塞拉组。岩性为泥岩，沉积于海陆交互相、□湖相和大陆架。有机质主要为腐殖型，阿纳德尔盆地的油大多为陆相，但存在细菌的改造，其证据是：C_{27}—C_{29}之间无峰值，正烷烃峰值在C_{23}，姥/植比3～13，平均7～8。根据甾烷异构化程度可见，原油属未成熟油，即其生成所需温度不高。

拉里特金组烃源岩有机质绝大多数为腐殖型，平均有机碳含量为0.96%，演化程度达肥煤阶段（R_o=0.95%～1.14%）。

麦尼查组泥岩包含腐殖—腐泥混合型有机质，演化程度达长焰煤—气煤阶段（R_o=0.48%～0.87%）；各段有机碳代表值为0.64%～0.79%，地化特征证实泥岩中已生成并运移出原油。

另一可能的烃源岩是中新统泥岩，埋深约2 500m，演化程度达长焰煤阶段（R_o=0.45%～0.50%）。根据钻井的地温资料分析，生油窗大致位于2 300～4 800m的深度范围。在海域，始新统—渐新统和30%的中新统下部泥岩处于此范围。在最深带，处于地震单元B底部的中新统中上部亦在生油窗内，根据地震速度判断，这些地层岩性比陆上相应层要细，泥岩比例高达60%～70%。

2. 储集层

所有已证实的主要储集层均属中新统，分别位于索博尔基组（油气储量占总储量的32.4%，油藏和气藏均有）、奥塞拉组（占总储量的54.7%，全为气藏）和阿弗塔库尔组（占总储量的11%，全为油藏）。因此，目前找油目标主要是中新统，目的层的深度为900～2 000m。

索博尔基组储集层为中等分选的长石砂岩和杂砂岩，有效孔隙度9.5%～28.8%，渗透率通常很低，平均（0.01～0.4）$\times 10^{-3}\mu m^2$。储集层物性沿Povorotno—Telekay油气聚集带中轴向北东方向变差，储集层类型大多数为孔隙型和孔隙—裂缝型。

阿弗塔库尔组储集层分布在中带和南带，储集层性质总体好于索博尔基组，在埃钦Verkhnily油田储集层为砂岩，有效孔隙度高达20%～24%，渗透率在（0.1～20.8）$\times 10^{-3}\mu m^2$之间变化。在东奥塞拉构造储集层为中粒复矿砂岩，连通孔隙度为20%，渗透率（200～300）$\times 10^{-3}\mu m^2$。储集层类型多为孔隙—裂缝型，中带储集层性质好于南带，连通孔隙度为6.3%～31.0%，渗透率为（0.04～181.5）$\times 10^{-3}\mu m^2$。

奥塞拉组储集层为厚0.2～15m不等粒砂岩—粉砂岩互层，有效孔隙度17.3%～

35.2%，渗透率（0.3～900）$\times 10^{-3}\mu m^2$。

另外，拉里特金组、亚吉尔组、乌斯特奇里纳依组、麦尼查组和加加宁组均发育有良好储集层，但至今未发现油气。

现有资料揭示，储集层孔隙类型和物性具明显的垂向分带性，但侧向变化规律难寻，其中阿弗塔库尔和索博尔基组储集层在中带和南带由于受次生变化的影响而具明显侧向变化，中带主要为孔隙型储集层，南带则为复杂的孔隙—裂缝型储集层。

总体上讲，整个新生代储集层在深部为孔隙型、裂缝型和孔隙—裂缝型；在中部为孔隙—裂缝型，在浅部为孔隙型。

3. 盖层

阿纳德尔盆地主要的盖层有：

（1）索博尔基和加加宁组泥岩夹层，为索博尔基组储集层的局部盖层。

（2）叶利塞也夫组泥岩为封盖索博尔基和阿弗塔库尔组储集层的区域性盖层。

（3）埃钦组泥岩为中新统储集层的地区性盖层。

未证实的可能盖层有：拉里特金组泥岩、麦尼查组泥岩和泥质粉砂岩。

4. 构造特征

在阿纳德尔盆地中可见到3种明显的构造样式（图1—1—4）。

1）同生裂谷构造

局限于拉里特金复背斜邻近坳陷西缘的白垩系构造即属此类。现在，原铲式正断层已发生反转，复背斜向盆地逆冲。

主要作用：伸展作用。

主要表现：断块走滑，裂谷系膨胀，裂谷边缘形成。

主要构造：地堑（裂谷）、裂谷、断层。

2）早期坳陷构造

重力沉降导致普罗托奇、麦尼查、维利科钦斯克、北拉贡、Provicleniya、中央、Meridional、Koryak—Larrentiya 等海槽形成，其形状多为地堑形和北、北西向断层所限制的半地堑形（图1—1—5）。

主要作用：伸展与沉降。

主要表现：控盆正断层。

主要构造：掀斜半地堑、正断层和地垒式隆起。

3）晚期坳陷构造

此时期各孤立地堑相互连接形成一个统一的盆地。

主要作用：沉降。

主要表现：沿主断层断块沿倾向滑动。

主要构造：正断层。

4）挤压构造

挤压构造始于中新世中期，但大规模形成期在上新世末至今，产生了所有主要构造，导致周边山脉抬升并向盆地冲断。

主要作用：水平挤压。

主要表现：向盆地内低角度逆冲和层内拆离式逆冲。

主要构造：线性断背斜、盆地中央短轴背斜、低角度逆冲推覆、海域部分的右行走滑。

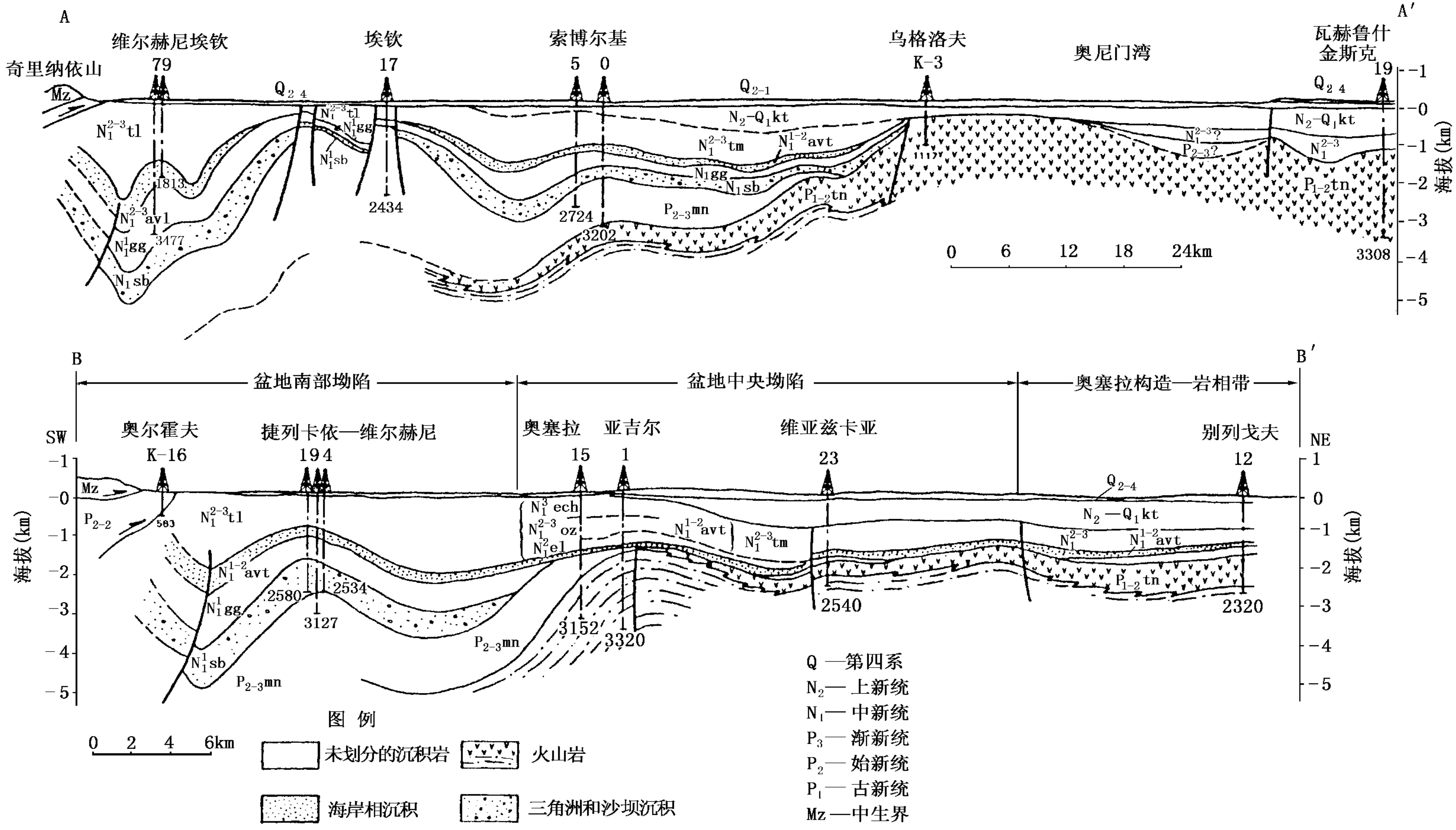


图 1－1－4　阿纳德尔盆地区域横剖面（**据** V. V. Ivanov，D. I. Agapitov，1985）

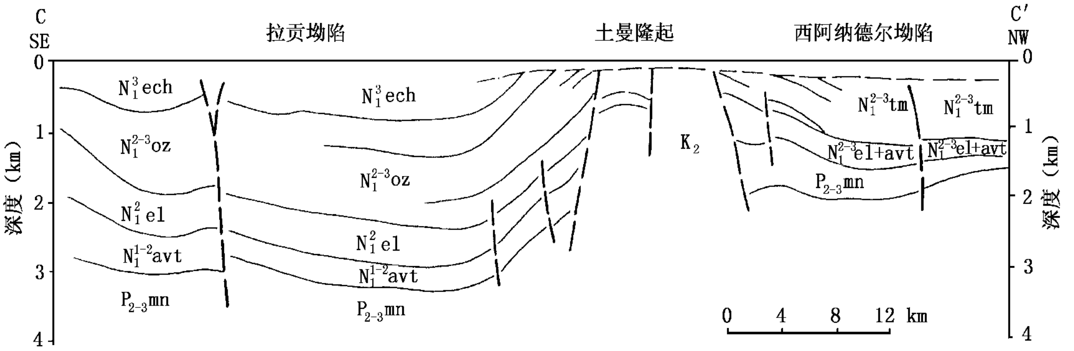


图1—1—5　Langunnyy海槽和阿纳德尔西部坳陷地震—地质横剖面图
（据A. N. Obukhov，D. I. Agapitov，1993）

5. 油气生成与运移

始新世—渐新世时期，麦尼查组烃源岩在盆地南部埋深1 000～5 000m，古地温为90～180℃，今地温65～120℃，超过生油门限。在盆地南部，下第三系和中新统烃源岩也已进入生油期，生油中心可能在麦尼查凹陷。

在盆地南部，下第三系和中新统的烃源岩也已进入生油门限，烃源岩经历了超过200℃的热液加热过程，盆地南部的麦尼查凹陷深层可能是一个生油中心，活跃的构造运动促使烃运移。

在盆地中部，发现有西奥塞拉气田，其最高地温梯度达3.6～3.9℃/100m。地层经历了连续的区域性加热过程，但后期构造回返，现今地温低于古地温，中新统烃源岩并未成熟生油。

盆内油气初始生成于10～12Ma以前，麦斯特里西特期泥岩可能在30Ma前即生成油气。尽管当时麦尼查组盖层已具有效的封盖性能，但由于储集层大量被削切而阻碍了油气侧向运移。

油气大量生成始于中新世中期，至上新世晚期达最高峰，当时挤压运动所形成的构造应力场有利于油气垂向运移和有限的侧向运移，盆内已发现油气田均形成近5Ma。挤压运动亦可能破坏了白垩系古油气藏而使油气进入新生界底部，部分运移进入索博尔基组储集层，亦可能在地层封闭白垩系储集层中形成新油藏。

因此油气主要运移方式是沿断层、裂隙和淋滤带垂向运移。由于新生界岩性变化大而限制了侧向运移。然而，奥塞拉地区气藏的形成则是Povortno—捷列卡依地区天然气侧向运移的结果。

6. 主要含油气组合

1）含油气组合类型

阿纳德尔盆地已证实3个中新统含油气组合。

（1）索博尔基构造—地层含油气组合。已找到2个油气田和发现（捷列卡依—维尔赫尼气/凝析油/油田和捷列卡依—Vostochnyy油田），占盆地可采储量的32.4%、液态烃的55.9%和气的22%。其储集层为砂岩，累计厚度900m，有效孔隙度9%～12%，渗透率$3\times10^{-3}\mu m^2$，含油饱和度23%～42%，产层埋深1 731～2 056m。

根据测试资料，原油采收率为23%，油的体积系数0.719～0.8396，产量为10.3～153 t/d。原油密度0.8528～0.8580g/cm³（33～34°API），含硫量0.08%～0.1%，含蜡量16.5%～25.1%，胶质和沥青质14.26%～35.4%。

圈闭为构造—地层型。构造系上新世挤压变形所致，走向北东和东西。地层型圈闭包括尖灭型和岩性型。构造包括2个背斜；上捷列卡依背斜长7.6km，宽2.7km，幅度约1km，被断层分割成3个独立断块；东捷列卡依背斜与前者仅一鞍部相隔，长8.2km，宽1.2km，南翼幅度200m，北翼幅度300～350m，圈闭中储集层不连续。

（2）阿弗塔库尔构造—地层含油气组合。包括一个发现（埃钦—维尔赫尼油田），占盆地已知总可采油当量的11%，或占盆地油储量的37.8%。储集层为阿弗塔库尔组砂岩，有效孔隙度9%，渗透率$25\times10^{-3}\mu m^2$，有效厚度25m，埋深1 500m。原油采收率20%，体积系数0.719，产量达38m³/d，密度0.8228g/cm³（41.5°API），粘度0.0063mPa·s，含硫量0.18%，含蜡量15.1%，胶质和沥青质含量1.2%，地层温度53℃。

圈闭为构造和地层型，构造为上新世挤压而成，代表性圈闭为东西向构造，由北而南构造受2条断层所限，西部平缓，东侧较陡，幅度不超过100 m，地层因素包括储集层透镜状和泥岩上倾遮挡。

（3）奥塞拉构造含油气组合。包括2个气田（Ozernoye Zapadnoye和Ozernoye Vostochnoye气田），占盆地总可采油当量的54.7%或气储量的78%。储集层为砂岩，天然气产量为（1.39～25.5）$\times10^4$ m³/d。

构造圈闭为平缓的短轴背斜，南北向，幅度50m，长轴12km，短轴11km。

2）含油气组合分布

在阿纳德尔盆地发现了2个油气聚集带：①Povorotno—捷列卡依油气聚集带位于南部，包含了索博尔基和阿弗塔库尔2个含油气组合，以狭长断背斜为特征，部分背斜核部已剥蚀至中新统下部。②Ozerninskaya油气聚集带在盆地陆地部分的中部，包含了奥塞拉含油组合。

3）封闭时间

在Povorotno—捷列卡依油气聚集带内，中新统背斜圈闭形成于挤压运动，定形于近2～3 Ma。地层圈闭形成于中新世。在Ozerninskaya油气聚集带，圈闭继承性发展，开始形成于20 Ma前，鼎盛期在上新世末。

4）影响油气有效圈闭的因素

（1）油气生成：中新世至今，高峰期为上新世晚期；

（2）圈闭形成：地层圈闭形成于中新世，构造圈闭形成于上新世末；

（3）最早封闭：中新世至上新世。

热液活动既使烃源岩加热，又改善了储集层物性。上新世晚期至第四纪挤压运动除形成背斜圈闭外，还形成逆冲断层和裂缝带等油气运移通道，所形成的应力亦有利于排烃作用。Povorotno—捷列卡依带背斜系中新统至第四系与麦尼查组剪切形成，这亦加强了油气运移与聚集。白垩系和古新统在中新世以来所生成的油气可能少数聚集于地层圈闭中，但其后又被挤压运动所破坏和改造。

7. 含油气系统

阿德纳尔盆地发育2个含油气系统。上部为已证实的含油气系统，油气来自古新统和中新统，储集层发育于索博尔基、阿弗塔库尔和奥塞拉组，为加加宁、叶利塞也夫和埃钦组所

封盖。下部产油产气，上部则只产气。油藏、油气藏发育于盆地南部，气藏发育于中部。

下部含油系统有待进一步证实，包括白垩系含煤地层和不整合上覆的古近系，现仅见油气显示，下一步勘探需要编制前第三系基底凸起等深图，基底由白垩系组成。

8. 油气储量及丰度

根据1992年底对阿纳德尔盆地所有油气田或发现的统计，其最终可采储量油为23.8×10^6 bbl，凝析油0.7×10^6 bbl，气3 460×10^8 ft^3。该盆地的油气丰度见表1—1—2。

表1—1—2　阿纳德尔盆地油气丰度（1992）

类　　型	油和凝析油	气	总　　量
油气丰度	338bbl/km^2	4.8×10^6 ft^3/km^2	1 133bbl（油当量）/km^2

9. 主要圈闭类型

该盆地的圈闭类型较为齐全，但以背斜型、断背斜型及岩性—地层型为主。

10. 油气田分布与勘探前景

1）中新统

在3个已证实含油气组合中，索博尔基含油气组合和阿弗塔库尔含油气组合潜力最大，而奥塞拉含油气组合和预测的加加宁含油气组合亦有潜力。

加加宁构造型和构造—地层型含油气组合分布于南带和中带，储集层为砂岩、粉砂岩，单层在南带厚0.5～3 m，在中带达10～12 m，有效孔隙度2.79%～33.4%，平均11.25%～24.45%；渗透率在南带低，为（0.01～49.3）$\times10^{-3}$ μm^2。中带的有效孔隙度和气饱和度均高于南带。

所有中新统含油气组合均在盆地中南部前景广阔。在北部，由于中新统薄，古新统为火山岩相，故潜力较小。

近期勘探证实，Megninuk、Povorotay、Izmennaya等构造顶部已削截至加加宁组或阿弗塔库尔组，油气保存受到影响，测试仅见油气显示。考虑到挤压背斜的复杂断块构造，油气很可能聚集在断层遮挡圈闭中，识别此类构造需应用三维地震资料。

在Ozerninskaya油气聚集带中，索博尔基储集层尖灭圈闭和地层不整合圈闭前景较好，但地层深度削截导致原油潜力小，天然气系从南部运移而至。

盆地南缘勘探工作程度低，此带存在逆掩冲断，中生界最厚，达7 km。勘探证实本区带以找油为主，因为本区地质条件不利于天然气保存。

在盆地西翼逆冲带，中生界厚度增大至3～5 km，勘探程度很低，未打井，预测中新统具有较好前景。

拉古尼（Lagunnyy）区海槽位于盆地东端，现虽未钻井，但地震资料显示其与盆地南部一样，前景广阔。海域中有利区集中在南部。在此二地区中主要圈闭类型是背斜和断背斜。

2）白垩系—古近系

上白垩统和古近系含油气组合可能具有一定的勘探意义。

亚吉尔组储集层仅分布在盆地中部，砂体厚3～15 m，分选中等，地层上部为孔隙型，下部为孔隙—裂隙型，孔隙度3.21%～27.56%，渗透率平均0.21×10^{-3} μm^2，而裂缝渗透率为（2.9～234.6）$\times10^{-3}$ μm^2。

始新统下部乌斯特奇里纳依组储集层仅分布于盆地中部，为砂岩和粉砂岩，分选中等，储集类型为裂缝—孔隙型。

始新统上部—渐新统麦尼查组砂岩亦有储集能力。在南带，有效孔隙度不大于13%，个别地区可能存在裂缝型和裂缝—孔隙型储集层；在中带，储集层为孔隙型和孔隙—裂缝型，孔隙度20%～22%，渗透率（40～50）$\times10^{-3}\mu m^2$，残余油饱和度35%～45%。

11. 大油气田和典型油气田（藏）

该盆地主要大油气田的特征见表1—1—3，埃钦—维尔赫尼油田为一典型的背斜构造油气藏（图1—1—6），而捷列卡依—维尔赫尼凝析气田的圈闭则为构造—地层型（图1—1—7）。

表1—1—3 阿纳德尔盆地大油气田特征

油气田名称	发现时间	石油可采储量（10^6bbl）	天然气储量（10^8ft^3）	含油气组合	圈闭类型
埃钦—维尔赫尼油田	1982	9		阿弗塔库尔	断裂背斜
奥尔赫罗夫斯克油田	1987	1.5		不明	不明
东奥塞拉气田	1989		1000	奥塞拉	披覆背斜和岩性侧向尖灭
西奥塞拉气田	1988		1700	奥塞拉	披覆背斜和岩性侧向尖灭
捷列卡依—维尔赫尼凝析气田	1984	9	760	索博尔基	断裂背斜和岩性侧向尖灭
东捷列卡依油田	1985		50	索博尔基	断裂背斜和岩性侧向尖灭

1）捷列卡依—维尔赫尼凝析气田

发现于1984年，位于陆上，目前处于开发评价阶段。最终可采储量：天然气$760\times10^8ft^3$，原油9×10^6bbl，凝析油69×10^4bbl。主要的储集层为下中新统砂岩，埋藏深度在1679～1720m。圈闭为被断层切割和未被断层切割的背斜和岩性的侧向尖灭所形成，属索博尔基地层—构造含油气组合。

2）西奥塞拉气田天然气发现

发现于1988年，位于陆上，目前无勘探开发活动。最终天然气可采储量为$1700\times10^8ft^3$。主要的储集层为中上中新统奥塞拉组砂岩，深度657m。主要的盖层为中新统至上新统地层。圈闭为披覆短轴背斜及岩性侧向尖灭，属奥塞拉地层—构造含油气组合带。

12. 勘探开发历程及现状

1）陆上

1959年开始在阿纳德尔盆地进行地震勘探，到1963年主要做了地质普查、重磁力和试验性地震勘探。

1963—1975年完成了第一次区域地震反射工作和折射工作，总计6 645km，发现一些小型构造。1976—1978年做试验性地震共深点法，6～12次覆盖，总计4 092km，主要在盆地南部坳陷区工作。1979—1984年做地震测线725km，在南部麦尼查凹陷发现捷列卡依—波沃罗特背斜构造带和其局部背斜构造。1985—1988年在奥塞拉背斜构造带做地震5 841km。1989—1991年在拉贡坳陷和奥塞拉构造带做地震3 454km。

自1982年起取得油气突破（图1—1—7），现已在中新统发现3个油气田：阿弗塔库尔油气田，产层为埃钦—维尔赫尼，油气藏为构造—地层型；奥塞拉油气田，产层为Ozer-

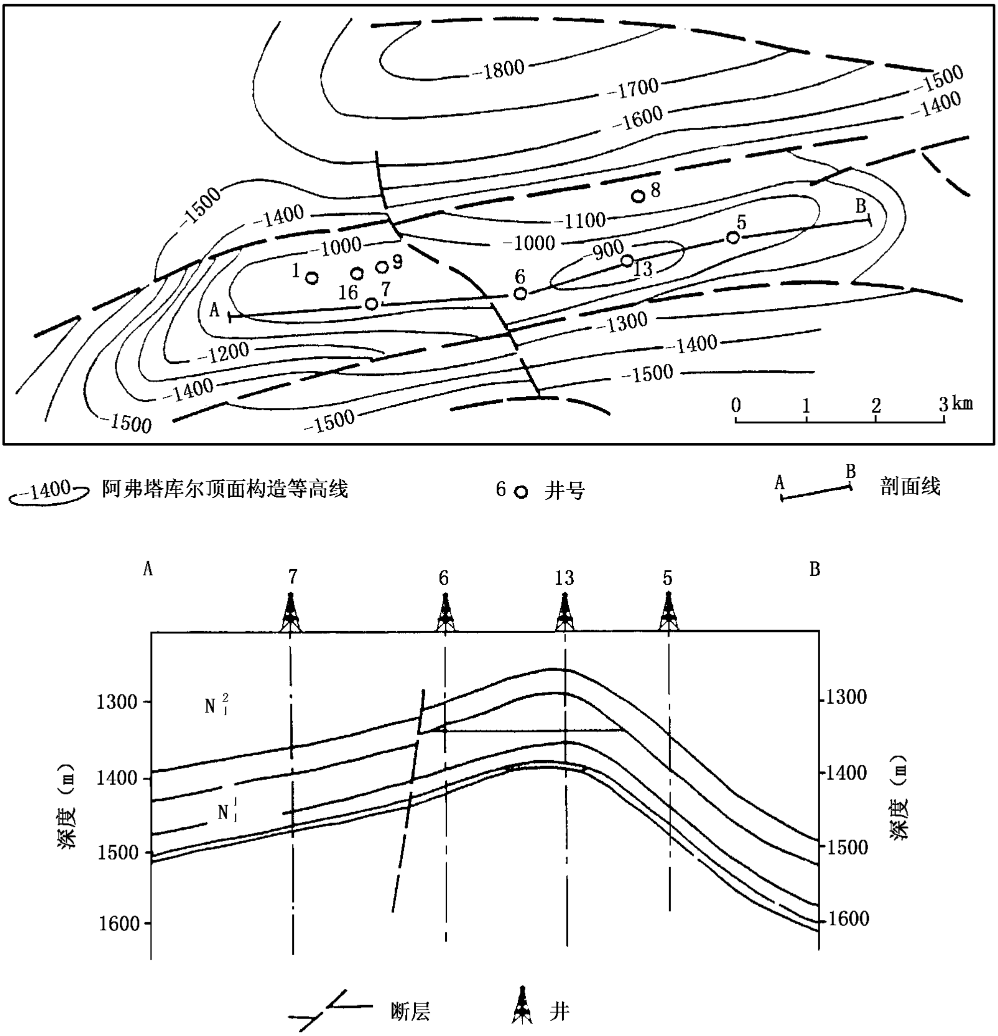


图 1—1—6　埃钦—维尔赫尼油田平面与剖面图（引自 Marat Modelevsky 等，1994）

noye Zapadnoye 和 Ozernoye Vostochoge，油气藏为构造—地层型；索博尔基油气田，产层为捷列卡依—维尔赫尼和捷列卡依—Vostochnyy，油气藏为构造—地层型。另外，还在其他层位发现了一个油气藏。总体来看，这些油气田规模较小，估计总可采储量为 1 126×10^4t 油当量。

2）海上

1959—1975 年做地震普查、重磁力勘探，证明盆地向海方向延伸。1971—1990 年在白令海大陆架做区域地震勘探。1976—1990 年做地震共深点法，发现海上有厚达 7km 的沉积层，存在大型坳陷和背斜构造。迄今为止，海域部分只进行了 6 000km 的地震测线，还未开展其他勘探工作，但从各方面分析认为，其勘探前景不容忽视。

阿纳德尔盆地从未颁发过勘探许可证，也无外国公司参与，所有勘探都是国营企业实施的。现在盆地勘探程度很低，由于地处北极圈附近，年均气温仅−7℃，冬季风大，缺乏通讯和基础设施，故勘探开发费用较高，进度较为缓慢。

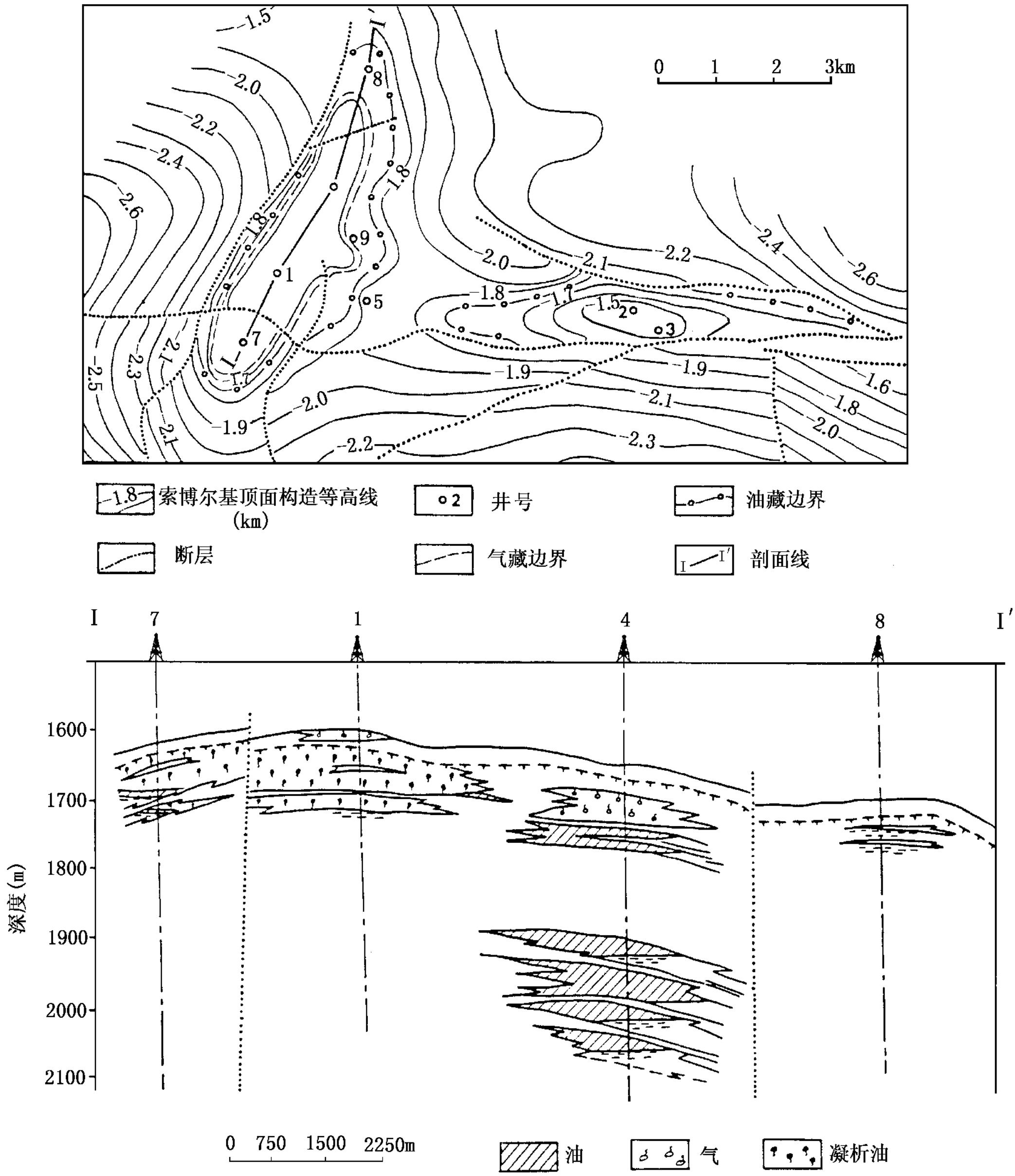


图 1—1—7　捷列卡依—维尔赫尼气田平面与剖面图（**引自** Marat Modelevsky **等**，1994）

五、小结

（1）**阿纳德尔盆地形成始于白垩纪末，中新世沉降规模最大，上新世至今发生挤压运动**。

（2）**阿纳德尔盆地主要生油岩是渐新统麦尼查组泥岩和中新统泥岩。麦尼查组泥岩埋深** 2～6km，**有机质丰富，自上新世即进入成熟阶段，已生成大量油气。储集层广泛分布，岩性为砂岩，分选中等，储集类型为孔隙型和孔隙—裂缝型，物性一般较好。主要盖层有：索博尔基和加加宁组泥岩、叶利塞也夫组泥岩、埃钦组含煤段、上白垩统泥岩及麦尼查组泥岩、泥质粉砂岩。**

（3）主要圈闭类型为背斜型、断背斜型及岩性—地层型。麦尼查组烃源岩中油气主要通过断层、裂缝及溶蚀带垂向运移至中新统储集层中，但盆地中部气体聚集则是来自南部的侧向运移所形成。

（4）盆内已发现阿弗塔库尔、索博尔基和奥塞拉 3 个油气田，前二者油气储量之和分别占盆地已发现石油/凝析油与天然气总储量的 100％和 22％，剩余 78％的天然气储量是奥塞拉气田中发现的。

（5）盆地具有上部中新统含油气系统和下部白垩系—古新统含油气系统。但油气藏在平面上具分区性。中新统勘探有利区在盆地中南部及西部逆冲带。白垩系—古新统勘探有利区在 Povoratno—捷列卡依油气聚集带和西部逆冲带。

（6）盆地勘探程度很低，由于地理气候等因素影响，勘探开发费用较高。

参 考 文 献

Agapitov D I，Burlin Yu K，Ivanov V Ⅴ. 1992. Formation of the Oil and Gas Pools of the Verkhne Telekay Field，Anadyr Basin，Transl From Geol Nefti Gaza，No. 1

Arkhipov V E，Bryzgalova G S. 1989. Geological Prerequisites for the Presence of Oil and Gas in the Anadyr and Navarin Basins，Sovet Geol，No. 1

Alabusheva A V. 1990. A Relationship Between the Color of Foraminifer Tests and the Grade of Catagenesis of Organic Matter in Clastic Rocks，Transl From Izv Akad Nauk Sssr，Ser Geol，No. 10

Belonin M D，Grigorenko Y N. 1996. Hydrocarbon Distribution in Sedimentary Basins of Northeastern Asia，J Petrol Sci Eng，Vol. 15，No. 2－4

Filatova N I，Vishnevskaya V S. 1991. Stratigraphy of Lower Jurassic－Neocomian Deposits in the Anadyr－Koryak Region，Izv Vyssh Ucheb Zavedenii Geol Razvedka，No. 12

Fradkina A F，Laukhin S A. 1995. Paleogene and Neogene Paleolandscapes of Northeast Asia，Dokl Akad Nauk，Vol. 345，No. 4

Ivanov V V，Ilyukhin L N，Prokhorov V S. 1988. Hydrocarbon and Isotopic Composition of Naphtids from the Northeastern Ussr，Geol Geofiz，No. 2

Glotov V E. 1992. Geochemical Prospecting for Oil and Gas Fields in the Ne. Ussr (Cis) (Commonwealth of independent States)，J Petrol Geol，Vol. 15，No. 3

Stavsky A P，Chekhovitch V D. 1990. Plate Tectonics and Palinspastic Reconstructions of the Anadyr－Koryak Region，Northeast Ussr，Tectonics，Vol. 9，No. 1

Zvizda T V，Vasilenko V P. 1992. Paleontological Phenomenon of the Kenkeren Range in the Koryak Highlands，Otechestvennaya Geol，No. 9

第二节　贝加尔裂谷系

贝加尔（Baikal）裂谷系位于西伯利亚的东南部，是亚洲大陆内部由一系列北东—北东东向盆地排列而成，总体呈 S 形展布的北东向裂谷系（图 1－2－1）。它发育于欧亚大陆东部，长 2 000km，总宽度从 100～150km 到 300km 以上。西南端为 Khubsugul 湖，东北端为奥廖克马（Oljokma）河。贝加尔裂谷系分布在多个岩石圈板块和微板块的边界上。

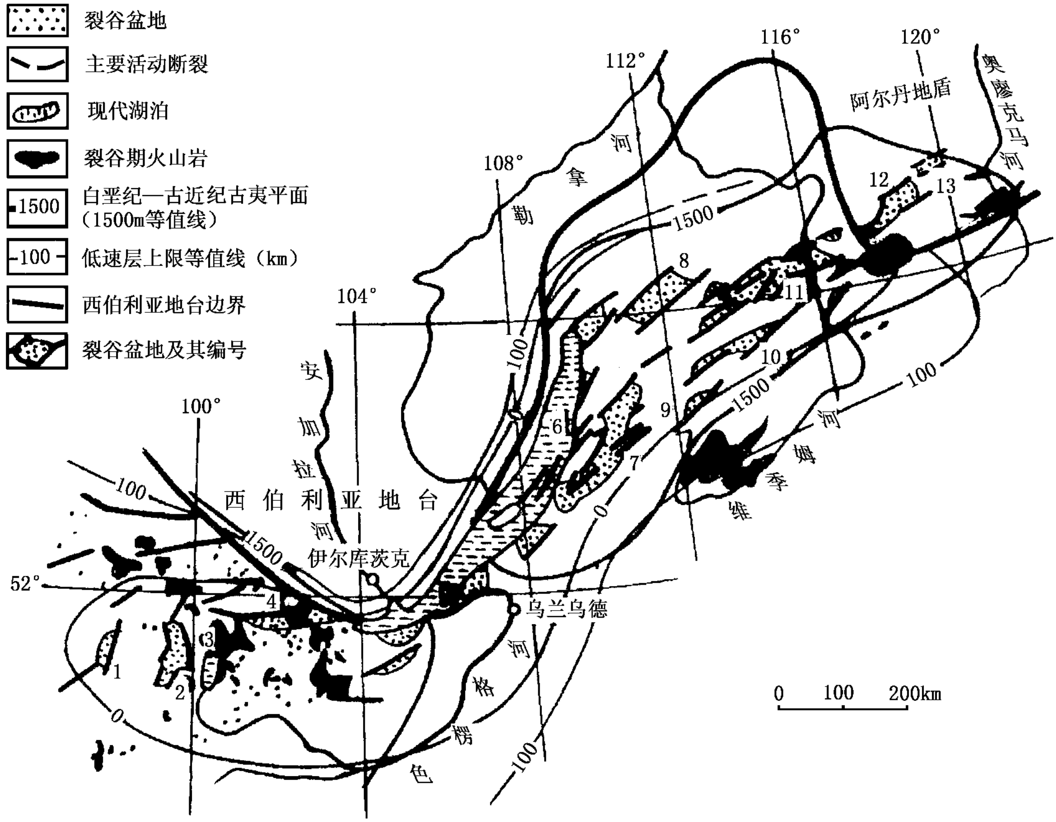


图 1—2—1 贝加尔裂谷系地质构造略图（引自易明初，1996）

1—布逊果；2—达克哈特；3—库苏古尔；4—冬卡；5—南贝加尔；6—北贝加尔；7—巴尔古津；8—上安加拉；9—赤柏；10—帮特；11—穆雅；12—查拉；13—托卡

贝加尔裂谷系自南向北发育有：冬卡（Tunka）、南贝加尔（South Baikal）、北贝加尔（North Baikal）、巴尔古津（Barguzin）、上安加拉（Upper Angara）、赤柏（Tsipa）、帮特（Baunt）、穆雅（Muya）、查拉（Chara）、托卡（Tokka）等 10 个北东—北东东向的裂谷盆地，在南侧发育布逊果（Busingol）、达克哈特（Darkhat）和库苏古尔（Khubsugul）3 个近南北向裂谷盆地。在这些盆地裂陷的同时，周缘山区快速抬升，形成现今盆山相间分布的构造地貌格局。

一、区域地质

贝加尔裂谷系主体发育于西伯利亚地台与贝加尔褶皱带之间，形成于新生代早期夷平的基底面之上，裂谷作用开始时期为新生代。

裂谷系盆地的边缘断裂大多为中生代或前中生代逆冲—推覆构造，如贝加尔湖西北缘的北东—北北东向和北东—北东东向断褶带。这些断裂在新生代裂谷期都转变为以张性或张扭性为主的盆地边缘同沉积断裂带，它们控制着裂谷盆地的形成与演化。

贝加尔裂谷系的地壳形成于晚泥盆世前。裂谷系的裂谷期火山活动、新构造运动与地震

活动都比较强烈，是陆内的地震活动带。现在，裂谷带仍在活动，表现为地震活动和异常地热场，后者的分布变化剧烈。贝加尔裂谷带的地形切割起伏，地壳厚度和岩石圈厚度较薄，分别为 36～40km 和小于 40～75km，上地幔 P 波速度极低，约为 7.7～7.8km/s。

1. 裂谷系的构造地貌分区

贝加尔裂谷系不同区域的地质特征存在着一定的差异和特色，依据其构造地貌特征可划分出 5 个地区。

1）贝加尔中部地区（贝加尔裂陷区）

贝加尔裂陷区位于巨大的欧亚内陆贝加尔裂谷带的中部，贝加尔穹状隆起的顶部。该穹窿的东西两侧伴生有 2 个规则分布的周缘裂谷带，滨贝加尔裂陷和色楞格—Vitim 坳陷。它们与贝加尔穹窿的边缘近似平行，包括一系列新大地构造期的隆起和地堑（图 1—2—2）。

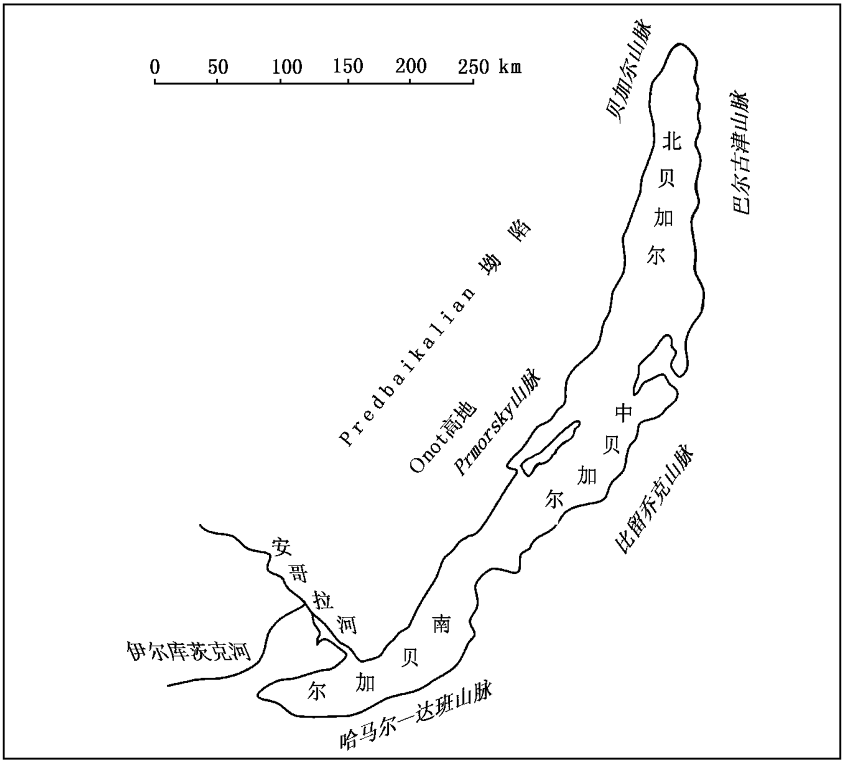


图 1—2—2　贝加尔裂陷区周边构造地貌分布图（Victor D. Mats，1993）

贝加尔裂陷由 3 个雁行排列的盆地构成，它们是南贝加尔盆地、中贝加尔盆地和北贝加尔盆地（图 1—2—2），而结晶基底是由水下 Academie 山脉分隔的 2 个坳陷。该山脉由一不对称的地垒组成，两侧为陡直的断层，顶面向西倾斜。

贝加尔裂陷区的剖面具有明显的不对称性。其西北缘由一系列陡倾的大断层组成，东南斜坡较平缓，其形状由小而弯曲的断裂确定（图 1—2—3）。这种不对称性可能反映了深层的不对称性，尤其是异常地幔的不对称性上隆。

贝加尔裂陷区的边缘是由不同宽度的条形构造区块组成。其中，某些区块由相当狭窄的断阶组成，某些区块由较宽的（10～15 km）中间阶地组成。中间阶地在裂陷东缘向轴倾

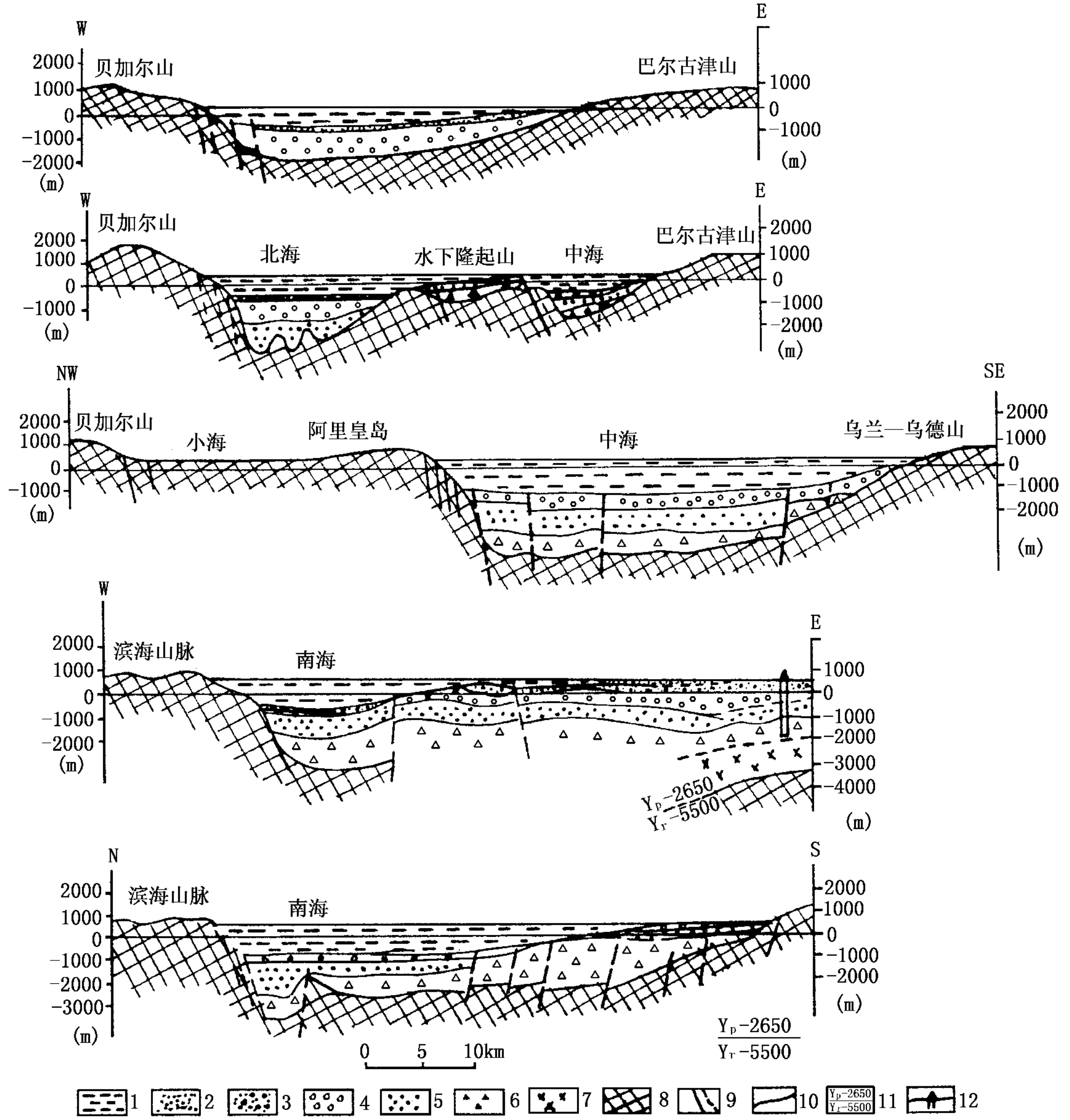


图 1—2—3 贝加尔裂陷区地质剖面略图（据 E. П. Васильевидр，1989）

1—水层；2—中、上更新统；3—第四系（未分）；4—下更新统；5—上中新统上部；6—中新统—上新统中、下部；7—侏罗系；8—前寒武系；9—断裂；10—按 HCП 划分的界线；11—按 MOB 划分的界线（Y_p 为层速度；Y_r 为边界速度）；12—钻孔

斜；在裂陷西缘则变化较大，有些是向裂陷的轴部倾斜，有些则受铲状断层控制向抬升的裂谷肩倾斜。

贝加尔裂陷区位于古老的构造缝合线，该缝合线将岩石圈分割成数个构造和发育截然不同的区块。在这些区块上形成众多小的坳陷，其表面向抬升的裂谷边缘倾斜。由于区块强烈的拉伸和沉降作用，这些小的坳陷合并成较大的深水坳陷，其表面向裂谷轴部倾斜。贝加尔湖中部深水地区的地壳厚度最小，约 34～35km。北贝加尔的地壳厚度增加到 40～45km。因此，北贝加尔盆地的深层构造与中贝加尔盆地和南贝加尔盆地完全不同。

2）贝加尔湖东部地区

东部主要有哈马尔—达班山脉和乌兰—乌德山两大山体，2 600m 左右制高点多分布在巴尔古津裂谷盆地的东西两侧，而大小山脉走向均受北东或北东东向控制，呈斜向式展布，巴尔古津裂谷盆地受巴尔古津山脉与依卡特山脉夹持。盆地西缘受巴尔古津断裂控制，边界平直，断崖发育，地势陡峭，山体海拔高度多在 2 600m 以上，使盆地西侧块体自西向东强烈翘起，裂谷盆地西侧也因山缘强烈翘起而大幅度沉降，形成西沉东翘的箕状盆地，使西侧沉积中心的新生代沉积厚度达 2 000m 以上。相反，在盆地东缘山体中有数条与西侧北东向断裂斜交的北东东向断裂，分别由东向西插入盆地，造成东缘边界犬牙交错。因此，根据现今大量平行水系穿过巴尔古津断裂呈现顺扭的同步弯曲特征判断，盆地东缘北东东向次级断裂处于拉张状态，造成盆地不均匀陷落。

3）贝加尔西部地区

贝加尔裂陷区西侧山块，同样具有东侧巴尔古津地块自西向东翘起的构造地貌形态。贝加尔裂陷西侧边界平直高大的断层崖，分别是贝加尔主断裂和滨海主断裂活动的结果，因为这组断裂的强烈上升运动，促使断陷两侧山块自西向东强烈翘起。

4）贝加尔北部地区

贝加尔裂陷区北端有巴尔古津和上安加拉 2 个裂谷盆地，其边界均受北东向断裂控制，且与山体走向一致。特别是西北缘断裂控制的边界平直，陡崖更为发育，穿越该断裂的水系均呈顺扭同步弯曲，断块山体同样具有自西向东翘起的断块构造地貌形态特征。

5）贝加尔南部地区

冬卡裂谷盆地位于贝加尔裂谷系的西南地区，近东西向展布。盆地南缘受近东西向断裂控制，断层崖发育；北缘主要受北西西向的东萨彦岭断裂带控制。因断裂大幅度的反扭作用，使水系同步发生大幅度的弯曲，弯曲幅度自东向西变小，在贝加尔湖南口处，伊尔库茨克河弯曲长度达 15km。

因此，冬卡盆地处于 2 种构造形态综合作用下，新生代以来活动更加强烈，沉积厚度达 2 000m 左右，火山喷发也时有发生。

综上所述，贝加尔裂陷及其周围山区，自新生代以来，北东—北北东向断裂为顺扭张性；东西向断裂为张性兼反扭；而东西—北北西向断裂，据贝加尔湖西岸夷平面冲积扇的大量拱曲、扭曲，以及东部地区新近纪—第四纪地层中的北北西向变形作用，显示压性兼反扭性质。构造特征反映了新生代以来，该地区处于北东向或北东东向至南西向或南西西向的挤压应力作用之下，这与整个贝加尔裂谷系构造应力场基本一致。

2. 盆地演化

从裂谷系中 9 个大型裂谷盆地的形成和沉积作用来看，总的特点是以形成最早的南贝加尔水下裂谷坳陷为中心，各自向西和向北东逐渐发展变新，具有相似的对称性。南贝加尔盆地沉积厚度可达 6 000m，形成于古新世—始新世中晚期，为最早的裂谷盆地。向西依次为渐新世—早中新世的冬卡裂谷盆地、晚中新世—早上新世的科瓦托戈尔—蒙迪裂谷盆地和上新世—第四纪的库苏古尔裂谷盆地等；向北东依次为渐新世—早中新世的北贝加尔盆地、中新世的巴尔古津和上安加拉裂谷盆地、晚中新世—早上新世齐帕—帮特和穆雅裂谷盆地、上新世—第四纪的查拉和托卡裂谷盆地。

贝加尔裂谷系的形成和演化，可划分出 2 个大的构造阶段，即古新世或始新世中晚期至上新世早期裂谷开始阶段和上新世中晚期至第四纪裂谷主要阶段（表 1—2—1）。前一阶段，

断裂活动微弱，地形反差极小，沉积粒度细，沉积速率较低；后一阶段，断裂活动强度大，升降幅度大，地形反差大，沉积粒度粗，沉积速率是前者的 3～10 倍。

表 1—2—1　贝加尔裂谷带断裂发育的主要阶段

发育阶段	时　代	断裂发育的动力学特征
前裂谷阶段		主萨彦、通金、滨海、巴尔古津、科达尔及其他类型的深大断裂和巨型断裂的形成和发育。叶洛欣、萨尔明等类型的横向断裂的稀疏网络
	古新世（？）	深大断裂和巨型断裂活化
裂谷开始阶段	始新世—渐新世	北东向深大断裂和巨型断裂活化，形成北东向正断层。穹窿顶部裂隙增高
	中新世—早上新世	裂谷中所有的断裂都活化并加长，形成横向正断层和正平移断层，出现斜向（近南北向、近东西向）断裂。裂谷中心部位的破碎程度增加
裂谷主要阶段	中上新世—全新世	沿断裂运动、活化，并在穹窿两翼形成逆掩断层和逆断层。裂谷带中心部位的总破碎程度增高。沿深大断裂和巨型断裂出现平移分量。沿裂谷带轴部产生贝加尔—察尔巨型断裂
裂谷结束阶段		构造作用的强度衰减，沿大断裂可能仍有运动

另外，从整个地质年代的角度看，贝加尔裂谷系发育包括 2 个主要阶段，即早造山运动期（前裂谷宏阶段）和晚造山运动期（裂谷宏阶段），其时间分界在上新世。前裂谷宏阶段包括元古代开始到中生代结束的各地质运动。

裂谷宏阶段（70—0Ma）包括白垩纪末到新生代。从岩性、地层、构造运动和古地貌的观点看，裂谷宏阶段分为隐裂谷阶段和裂谷阶段，以渐新世早期的构造运动划分。隐裂谷阶段和裂谷阶段具有明显不同的沉积地层。

1）隐裂谷阶段：马斯特里赫特阶（晚白垩世）—始新世（70—35*Ma*）

湿热的亚热带气候下形成广阔的剥蚀夷平面，在未来的贝加尔裂谷区，为广大的湖区和一些地堑构造。

2）裂谷阶段（35—0*Ma*）

形成贝加尔裂陷地貌构造复合体。以上新世晚期（4—3Ma）的构造运动为界，裂谷阶段分为 2 个亚阶段。

（1）主贝加尔亚阶段（35—3.5Ma）：形成巨大的深水裂陷区。其沉积物与现代贝加尔湖底沉积相似，而与同时代的滨贝加尔地堑的沉积不同。大部分地层自渐新世开始沉积，有些地区则是从始新世或中新世开始沉积。裂谷形成的过程是在微弱的区域抬升背景上的坳陷下沉。活跃的下沉引起多源的粗碎屑沉积。主贝加尔亚阶段的早期（30—10Ma）在南区形成巨大的深水盆地，在北区的北端也可能存在一个大的盆地。晚期（10—3.5Ma）在北区的南部形成湖侵。Sasinsky 层序与倾斜地块的加速下沉有关，并将数个小坳陷连接成一个整体。

（2）新贝加尔亚阶段（3.5—0Ma）：形成贝加尔区域性隆起，使坳陷加深和扩张。更新世初（0.8—0.7Ma）裂谷西缘发生强烈的上降。新贝加尔亚阶段分为早期、中期和晚期。晚期地壳发生巨大的抬升和沉降，形成贝加尔湖的最大深度直到现今。

3. **地层简介**

裂谷发育阶段前期，如古新世时期，贝加尔裂谷系中的深大断裂和巨型断裂虽已活化，但裂谷并未形成，相应的沉积作用并未发生。实际上裂谷的形成是在始新世—早上新世之间漫长而微弱的地壳运动阶段，这个阶段称为裂谷开始阶段，形成以粘土岩、粉砂岩、砂岩、凝灰岩、石灰岩、泥灰岩和硅藻土为主的细粒层，地势高差较小，沉积厚度 1 000～4 000m 不等，平均沉积速率为 0.025～0.10mm/a。上新世中晚期至第四纪为断裂发育的主要阶段，地壳运动强烈，断裂的升降运动显著，地形反差极大，从而产生粗粒碎屑堆积层，总厚度一般为 1 000～1 200m。如果以 4Ma 计算，沉积速率为 0.25～0.3mm/a，是沉积作用的主要阶段。2 个时期沉积的总厚度，除南贝加尔盆地和北贝加尔盆地达到 4 000～6 000 余米外，其余盆地多在 2 000 余米。

贝加尔裂陷区沉积地层厚度达 7 500m。最大厚度位于南贝加尔盆地以及北贝加尔盆地的北端。贝加尔裂陷具有极为复杂的巨厚沉积层，包括各种岩相和成因类型。地层的年代包括晚白垩世末期和整个新生代。由于地貌构造环境的不对称性导致了岩性地层的不对称性，东部和南部岸线以湖相沉积为主。

对贝加尔裂陷的层状层序进行地层划分十分困难。其中，最具代表性的剖面是位于色楞格（Selenga）河三角洲的 Ust—色楞格剖面（表 1—2—2）。Ust—色楞格剖面为湖相多源砂岩、粉砂岩和粘土沉积，局部与褐色煤层互层，含砾石或砂砾，向边缘带颗粒变粗。

表 1—2—2　贝加尔裂陷新生代地层

<table>
<tr><th colspan="2">地　　层</th><th colspan="2">南、中贝加尔裂陷</th><th colspan="2">滨 Olkhonye</th></tr>
<tr><td colspan="2">全新统</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">Njurgansky 组，20 m</td></tr>
<tr><td>更新统</td><td rowspan="10">Ust—
色楞格剖面，
3000 m</td><td colspan="2" rowspan="2">Shankhaikhin 组，数百米</td><td colspan="2">Zagliisky，5～7m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">上上新统</td><td colspan="2">Kharantsyn 组，12～15m</td></tr>
<tr><td colspan="2">风化壳</td><td colspan="2">红色风化壳</td></tr>
<tr><td>下上新统</td><td rowspan="7">Tankhoy 组，
1200 m</td><td rowspan="3">Osinovsky 组，
1000 m</td><td rowspan="2">Khalagay 组</td><td>Sasinsky 层</td></tr>
<tr><td>上中新统</td><td></td></tr>
<tr><td>中中新统</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>下中新统</td><td>风化壳</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>渐新统</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>始新统</td></tr>
<tr><td>古新统</td></tr>
<tr><td>白垩系</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

注：分界不十分准确。

贝加尔裂陷区出露的新生代沉积可划分为 3 套岩性—地层复合体。它们是上白垩统至始新统复合体、渐新统至上新统下部复合体和上新统上部至第四系复合体。其中，上白垩统至始新统复合体与另 2 个复合体之间存在明显的差别。

上白垩统—始新统仅沉积在贝加尔裂陷的局部地区和周边隆起上。其上有一红色再沉积的红土—高岭土风化壳。坳陷内为湖相、冲积和洪积相冲积。晚白垩世—古近纪早期在 Academie 山出现微弱的碱基性火山活动。

贝加尔裂陷渐新统至下上新统主要为湖相沉积，其上为一不整合面。它主要分布在南贝

加尔盆地的南部和东南岸、滨 Olkhon 地区、Olkhon 岛和 Svyatoy Nos 半岛的西岸，可能在北贝加尔盆地缺失。

南贝加尔地区含煤粉砂地层被认为是渐新世至上新世早期的沉积，称为 Tankhoy 组；而粗碎屑沉积被称为 Anosovsky 组，是上上新统的沉积。后者又分成 2 个不同年代的地层：①Osinovsky 组，1 000～1 200m，与 Tankhoy 组相似；②Shankhaikhin 组，厚度大于 300 m，为上上新统。Tankhoy 组以粘土和粉砂岩夹砂岩和褐色煤层为主。其中，下部为浅水或中等水深的湖相沉积，富含有机质；上部为粘土、粉砂岩和薄砂层的韵律互层。

Osinovsky 组为巨砾、砾岩、砂砾和砂层沉积，顶部由粘土和粉砂形成一不对称构造沉积韵律层。上上新统至更新统的 Shankhaikhin 组沉积在南贝加尔盆地的东南岸十分丰富。整个剖面含有冲积和湖相赤色粗碎屑沉积，向上变为砂岩。

Svyatoy Nos 半岛西岸中中新统至下上新统的 Khalagay 组分布在由倾斜断块形成的较小的构造凹陷中。厚度达 130～150m，主要由湖相粘土和粉砂岩组成，偶见薄煤层。下部局部含碳酸盐岩和石膏，向上相变为 Sasinsky 层。

Sasinsky 组为上中新统至下上新统的湖相和近地表沉积，以粘土成分为主。坳陷中沉积厚度达 50～60m，隆起上厚度减小。它有 3 种典型剖面。

上上新统的 Kharantsyn 组沉积由地表粘土组成。

二、大地热流

贝加尔裂谷系的热流值在 15～400mW/m^2 以上。裂谷盆地周围山地的热流值较低，而坳陷内的热流值超过 50～75mW/m^2。

贝加尔裂陷两侧的平均热流值 57±23mW/m^2，湖内 206 个测量点的热流平均值较高，达 78±9mW/m^2。最异常的地区是南贝加尔湖水下的 Academie 山脉，热流值 88±8mW/m^2。在南贝加尔盆地和北贝加尔盆地，热流值 79±14mW/m^2，南部的地热异常带在东侧，北部的异常带在西侧。

最低的热流区位于色楞格三角洲（63±6mW/m^2）以及贝加尔湖坳陷中部。最大热流区位于断裂带。在裂谷坳陷，尤其是在贝加尔裂陷，受沉积、沉降和滑坡作用影响，近斜坡带的热流大大降低。

横穿贝加尔湖南部的地热剖面（图 1—2—4）表明，其西部的西伯利亚地台的地壳厚度约为 40km，莫霍面的温度为 375℃。贝加尔裂谷带的地壳厚度减薄为 36km，莫霍面的温度增加到 700℃。其东部的贝加尔过渡区的地壳厚度为 44.5km，莫霍面温度下降到 500℃。1200℃等温线在西伯利亚地台、贝加尔裂谷带和贝加尔过渡区的深度分别为 180～200km、80km 和 150km。

三、火山活动

随着贝加尔裂谷系的形成与演化，在裂谷的主阶段火山活动较为强烈，后期时有火山的喷发。此外，晚白垩世至古近纪在 Academie 山出现微弱的碱基性火山活动。

四、含油气性

陆相地层生油问题一直被人们所关注。贝加尔裂谷为发展中的大陆构造，其中有大量的油气显示。在外贝加尔地区山间陆相盆地中，除了具有油气显示外，盆地中还有许多含沥青页岩。沿贝加尔湖岸从色楞格三角洲到 Barguzin 湾，存在 2 个平行的与断层有关的油气显示带。在色楞格三角洲，一些初探井和许多岩心中具有油气显示。外贝加尔裂谷中的气体可根据其成分进行分类，油气明显位于沉积岩区，没有无机成因的氮气和二氧化碳。

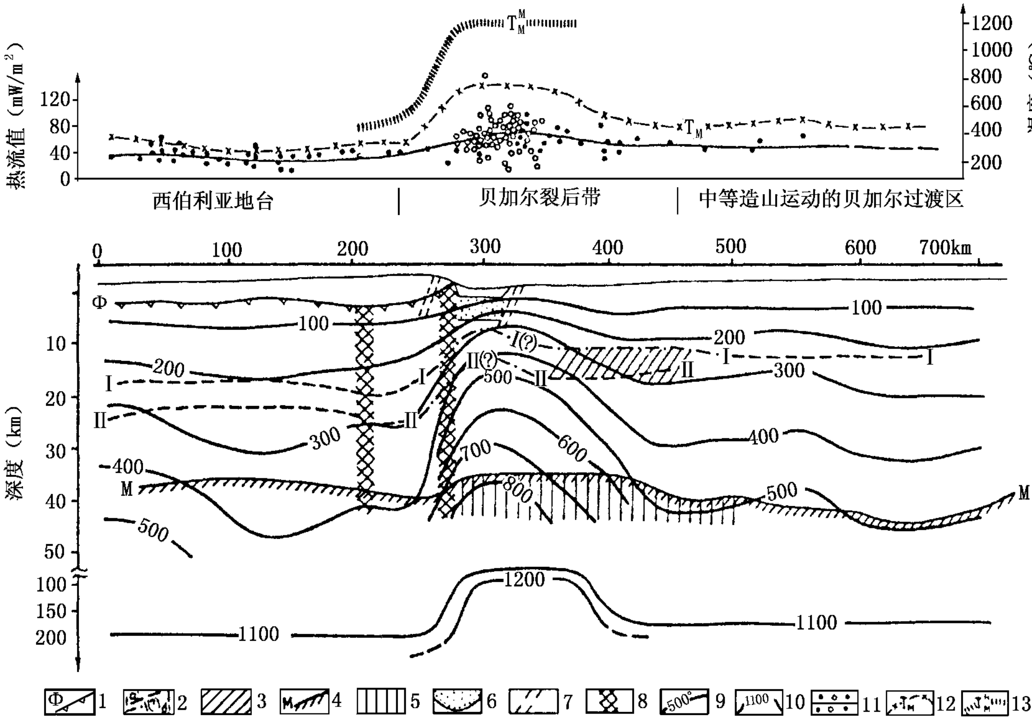


图 1—2—4　Ust—Uda—贝加尔湖—Khilok 地热剖面（据 Krylov 等，1981）

深度剖面：1—西伯利亚地台基底面；2—地壳内部分解Ⅰ和Ⅱ（a. 由地震声波资料，b. 估计）；3—地壳内部的低速层；4—莫霍面；5—上地幔中的低速层；6—贝加尔坳陷中的陆相沉积；7—近地表的断层；8—深部断层；地热剖面：9—由静态地热场获得的等热线；10—假定的岩石圈基底温度（℃）；11—热流分布（实点表法是在贝加尔湖底测得的数据）；12 和 13—模型计算温度

另外，从贝加尔湖东部到 Argun 河，山间盆地中广泛沉积了侏罗系和白垩系，它们可能是富含油气的盆地。烃源岩形成于淡水环境，具有形成工业油气藏的潜力，地化分析表明白垩系或贝加尔湖新生代的陆源淡水沉积是贝加尔裂谷系的潜在油源。

五、小结

（1）**贝加尔裂谷系是新生代时期形成的大型 S 形展布的北东向裂谷系。**

（2）**古新世或始新世中晚期—上新世早期为裂谷开始阶段，断裂活动微弱，地形反差极小，沉积粒度细，沉积速率较低；上新世中晚期—第四纪为裂谷主要阶段，断裂活动强度大，升降幅度大，地形反差大，沉积粒度粗。**

（3）**与东西两侧的地质区相比，贝加尔裂谷带的地壳厚度减薄为 36km，莫霍面的温度增加到 700℃，1200℃等温线的深度为 80km。**

（4）**沿贝加尔湖岸色楞格三角洲到 Barguzin 湾，存在 2 个平行的与断层有关的油气显示带。在色楞格三角洲，一些初探井和许多岩心中具有油气显示。**

（5）**迄今为止，该区还没有发现具工业价值的油气流，也无系统的含油性资料。**

参 考 文 献

吴珍汉，崔盛芹等. 1996. **汾渭与贝加尔裂谷系相似性的统计分析. 地质力学学报**，(2)

易明初. 1996. 贝加尔裂陷新构造特征. 地质力学学报，(4)

崔盛芹等. 1986. 汾渭地堑与贝加尔裂谷系的比较构造分析. 中国地质科学院院报，(15)

Dorofeeva R P，Lysak S V. 1987. Geothermal Profiles of the Lithosphere in Central Asia，Tectonophysics V 164，No. 2—4，165—173

Logatchev N A. 1993. History and Geodynamics of the Lake Baikal Rift in the Context of Eastern Rift System，Elf Aquitaine

Logatchev N A. 1978. Baikal Rift System，Tectonophysic

Logatchev N A. 1987. Evidence and Cause of the Two—Stage Development of the Baikal Rift，Tectonics，Vol. 143

Lysak S V. 1987. Terrestrial Heat Flow of Continental Rifts，Tectonophysic，Vol. 143

Mats V D. 1993. The Structure and Development of the Baikal Rift Depression，Earth—Sci Rev，No 2

Samsonov B V，*et al*. 1996. Petroleum Potential of Continental Sediments in the Baikal Rift and intermountain Basins，30th int. Geol. Cong.，Vol. 2

第三节　吉雅—布列亚盆地

吉雅—布列亚盆地也称阿穆尔—吉雅盆地，该盆地位于我国松辽盆地的北面，上布列亚盆地的西面。盆地形态较为复杂，但总体上沿北东方向延伸，长约 370km，宽约 250km，总面积 93 000km^2。盆地大部分面积位于俄罗斯境内，仅少部分面积位于我国境内（图 1—3—1）。

一、区域地质

盆地的形成是在东北亚主动大陆边缘形成的初期，太平洋板块俯冲所引发的深部地质作用尚未占主导地位，太平洋板块的俯冲只是作为引发深部地质因素的浅部诱因而存在。因此，太平洋板块向欧亚板块的俯冲所产生的内应力使地壳抬升、岩石圈变薄及大陆边缘出现深大断裂，从而形成裂谷盆地。

1. 盆地演化

1）基底

吉雅—布列亚盆地的基底较为复杂，可以分为前里菲、里菲、文德—下古生界、上古生界和下中生界等几套岩系。它们主要是由沉积岩、变质岩和岩浆岩所组成，彼此之间以区域性的角度不整合和沉积间断所分割。

在盆地基底构造形成时，深大断裂起着非常重要的作用，它们决定了前里菲期基底的张裂和坳隆相间构造的形成。当侵入体侵入时，隆起获得了穹窿的形状并长期作为物源区存在。在坳陷早中期沉积了一套海相沉积物，从早二叠世开始接受陆相沉积，此后，它们遭受了变质、变形作用而转化为构造极为复杂的褶皱体系。在中生代晚期由于剪切断裂活动，引起地幔物质侵入，造成地壳的张裂而开始了该盆地的演化历史。

由现代构造图中可以看出，吉雅—布列亚盆地内共发育 4 组断裂，其中以北东向和北西向断裂为主，近东西向和近南北向的断裂次之，和松辽盆地情况大致相似。盆地范围内共有

9 个一级构造单元，包括 4 个基底隆起及由其所分割的 5 个裂谷坳陷（图 1—3—1）。盆地的凹隆体系被一系列北西向的断裂所切割，其中有一些断裂为巨大的剪切断裂。有些基底断裂为长期强烈活动的断裂，其活动时间可一直延续到第三纪、甚至第四纪。

地球物理资料证明，吉雅—布列亚盆地的磁场总体上是由一系列北东向和近南北向的磁异常条带镶嵌而成。区域重力的最大值显然与莫霍面的上升和地壳的厚度减薄有关。该区地壳厚度为 30～34km。它与我国东部的松辽、渤海湾等裂谷盆地具有类似的重力场和磁场特征。

2）裂陷拉张期（晚侏罗世至早白垩世）

由于受太平洋板块运动的影响，晚侏罗世东亚大陆边缘在区域性左旋拉张应力的作用下形成了一系列裂谷盆地，松辽盆地和吉雅—布列亚盆地就是其中的代表，在该盆地形成的初期，伴有一些火山岩喷发。

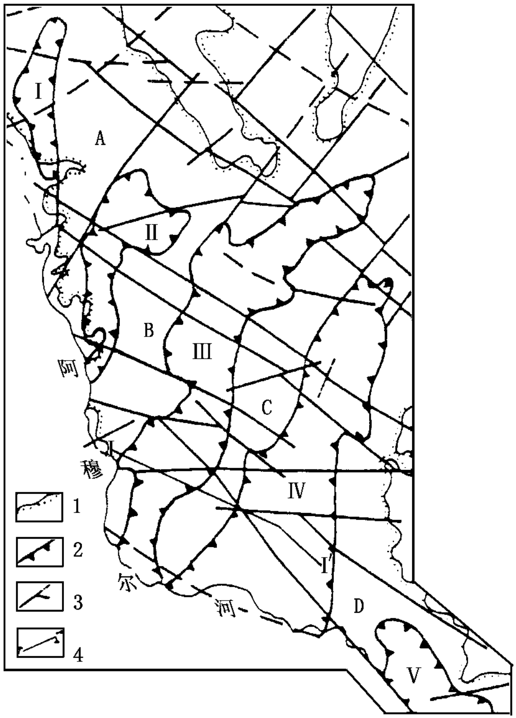


图 1—3—1 吉雅—布列亚盆地构造示意图（据 Г. Л. 基里洛娃，1994）

1—盆地边界；2—裂谷坳陷的边界；3—主要断裂；4—剖面线位置；Ⅰ—图—塔拉康坳陷；Ⅱ—瑟慧夫—克利莫乌切夫坳陷；Ⅲ—列尔蒙托夫—别洛戈尔斯克坳陷；Ⅳ—波亚尔科沃—叶卡捷林诺夫卡坳陷；Ⅴ—阿尔哈林坳陷；A—波特罗巴夫洛夫隆起；B—布拉戈维申斯克—斯沃博德涅斯隆起；C—梅库尔—萨维金斯基隆起；D—布列亚隆起

由 И. Х. 哥尔巴乔夫等根据区域地质和地球物理研究结果所编制的吉雅—布列亚盆地剖面示意图（图 1—3—2）可以看出，盆地的沉积盖层共分为 2 个构造层，下部构造层是由构造变动较弱的上侏罗统至下白垩统的沉积岩和火山沉积岩所组成，它们分布较为局限，主要受坳陷控制；上部构造层为近水平的上白垩统和新生界所组成，上构造层不整合在下构造层之上；在隆起部位，上构造层直接覆盖在基岩之上。

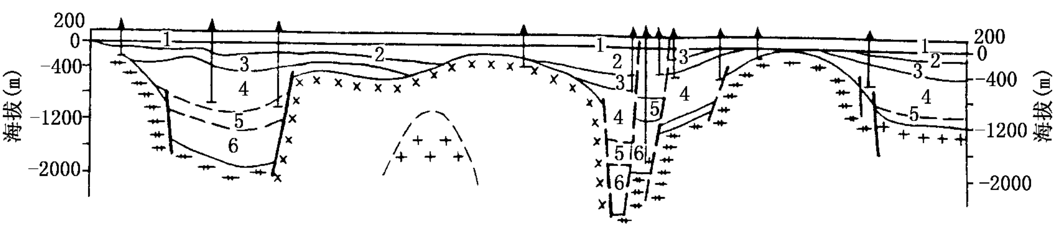


图 1—3—2 吉雅—布列亚盆地地质剖面图（据 И. Х. 哥尔巴乔夫，1972 修改）

1—第四系—古近系；2—上白垩统察加扬斯克组；3—上白垩统扎维金斯克组；4—下白垩统波亚尔科沃组；5—下白垩统伊吉库特组；6—上侏罗统叶卡捷林诺夫卡组

3）热沉降期（早白垩世至晚白垩世）

由于地幔物质上涌后导致 400km 界面处地幔物质的活动性降低，使大陆边缘的火山活动变得相对较为平静，上涌的地幔热物质冷却而进入热沉降的坳陷发育阶段。

2. 地层简介

Г. Л. 基里洛娃根据 1990 年在哈巴罗夫斯克举行的第四届远东区域地层会议上公布的最新资料，编制了吉雅—布列亚盆地岩性地层柱状图（图 1—3—3）。

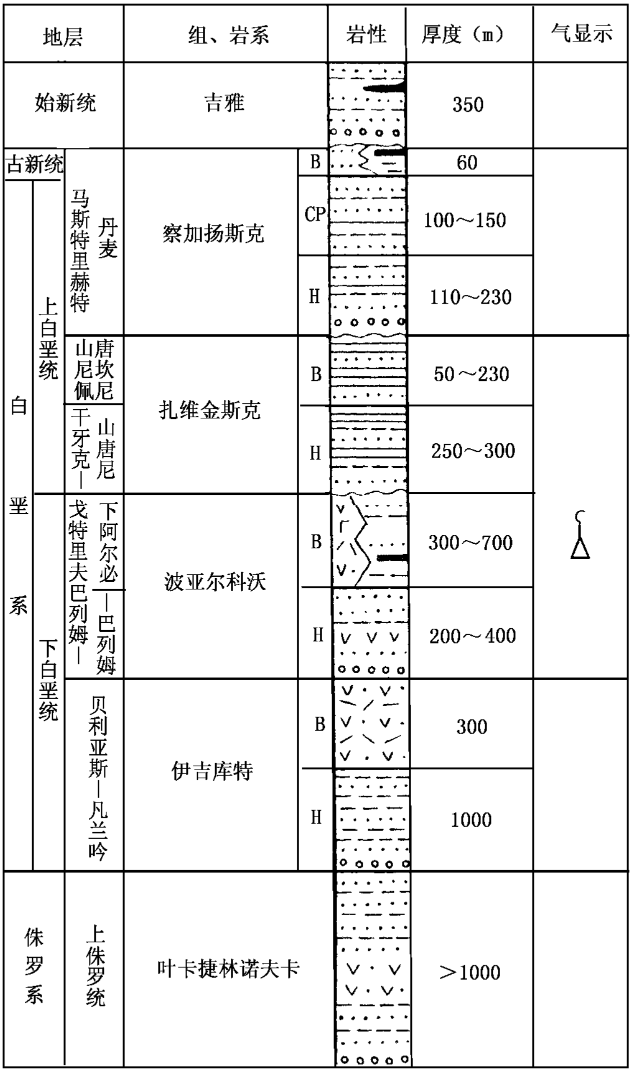


图 1—3—3　吉雅—布列亚盆地岩性地层柱状图

（据 Г. Л. 基里洛娃，1994）

1）侏罗系

吉雅—布列亚盆地的中部埋藏着上侏罗统叶卡捷林诺夫卡组，该组下部有 100m 厚的沉积角砾岩，它主要由下伏的花岗岩类的砾石组成。向上变为粉砂岩、砂岩、细砾岩互层，夹火山碎屑岩，总厚度约 500 m。该组的顶部是不同粒度的砂岩、粉砂岩、泥岩夹凝灰岩互层，厚度 260 m 左右。地堑边部所沉积的岩石粒度较地堑中部同时代沉积的岩石粒度要粗。根据叶卡捷林卡诺夫卡组的孢粉组合可以确定，该组为上侏罗统伏尔加阶。

在盆地的西北部，上侏罗统分为杰普组和莫尔长组，它们直接覆盖在中侏罗世的海相地层之上。中侏罗统为具有沉积旋回的砾岩和砂砾岩。杰普组主要为中细粒砂岩，含多层粉砂岩、泥岩、凝灰岩和煤层，煤层的总厚度为 3m 左右。杰普组的总厚度可达 1000m。再向上为莫尔长组，其厚度 1 500 m 左右，主要是砂岩夹粉砂岩、凝灰岩及砾岩，含煤层和煤线。晚侏罗世地层中含大量的植物化石。

2）下白垩统

下白垩统被分为伊吉库特组和波亚尔科沃组。

（1）伊吉库特组：下部主要是砂岩、粉砂岩、泥岩及砾岩，含植物化石，厚度可达 1000 m；上部主要为流纹岩、安山岩和凝灰岩，厚度有 300 多米。它们在列尔蒙托夫—别洛戈尔斯克等较大规模的坳陷中，具有明显的相变，在坳陷的中部陆相沉积占主导地位，而在坳陷的边部及狭窄的坳陷中以火山岩为主。

（2）波亚尔科沃组：该组分布范围较伊吉库特组要广，在坳陷中部地层厚度最大，且整合覆盖在下伏地层之上。在盆地的边部和局部隆起上，它不整合或假整合在不同时代的老地层之上。按照岩性特征和植物化石及孢粉组合，该组可分为 2 个亚组：下部亚组主要是陆源碎屑岩夹火山岩；上部亚组则以火山岩为主，陆源碎屑岩次之。

根据 И. Х. 哥尔巴乔夫和 А. А. 季莫费叶夫的研究，在坳陷中部地区，下波亚尔科沃亚组的下部是具有韵律的细中粒砂岩、粉砂岩、泥岩互层，厚度 220m 左右；其上部是泥岩夹少量的粉砂岩，厚度约 700m。在坳陷的边部，该亚组主要是由安山岩、凝灰岩、凝灰质角砾岩等火山岩所组成，厚度为 250 m 左右。在过渡区有一些过渡类型的剖面，它们主要是砂岩、凝灰质粉砂岩、泥岩、砂砾岩、砾岩、煤层、安山岩、凝灰岩和层凝灰岩，剖面厚度一般在 200～450m。

上波亚尔科沃亚组与下波亚尔科沃亚组相比相变更为明显，特别是在其下部。在坳陷中部它主要为泥岩、凝灰质砂岩、粉砂岩、砂砾岩、砾岩，厚度可达 600m。靠坳陷边部火山岩的含量有所增加，并出现煤层，在断裂附近的隆起上其厚度为 300m 左右。主要是酸性和基性成分的安山岩、安山质玄武岩、凝灰岩、火山集块岩及流纹岩等。

3）上白垩统

上白垩统分为 2 个组：扎维金斯克组和察加扬斯克组。

扎维金斯克组在盆地范围内未见出露，仅见于钻孔中。它们平行不整合在更老的岩层之上，以无火山岩和煤层、相变不明显为特征。其分布范围较先前有明显的扩大，此时沉积中心和沉降中心基本一致。

（1）扎维金斯克组：根据时代和岩性特征，该组可分为 2 个亚组：①下部亚组为灰色、绿灰色石英长石砂岩，含大量的硅质和石英质的砾岩，向上为绿灰色粉砂岩、粉砂质泥岩、砂泥岩，黑色泥岩夹薄层菱铁矿。②上部是 20～30m 厚的粉砂岩和砂岩互层，夹少量的泥岩。在其底部有时有 0.5m 左右厚的绿色和白色石英细砾岩。向上为 25m 左右的棕红色泥岩夹 5 层绿色、绿灰色碎屑岩层。最上部为粉砂岩、泥岩互层，夹砂岩薄层。在杂色泥岩中含丰富的动、植物化石及孢粉化石。

（2）察加扬斯克组：该组分布很广，它可以直接覆盖在扎维金斯克组、波亚尔科沃组，甚至是基岩之上。在盆地中心其厚度最大，可达 580 m。向盆地边部其厚度逐渐变薄。根据岩性及沉积旋回特征，可将其分为 3 个亚组。每个旋回都是从粒度较粗的砾岩、细砂岩开始，以粒度较细的细砂岩、泥岩结束，具有明显的正韵律结构。该组含植物化石、孢粉及恐龙化石。

4）古近系至第四系

吉雅—布列亚盆地的古近系至第四系地层统称为吉雅群。它们主要由砂砾岩（石）和泥（岩）、粉砂（岩）等组成，总厚度可达 400 m。它自下而上可分为赖奇欣斯克组（下、中始新统）、摩欣斯克组（渐新统）、布苏林斯克组（下、中中新统）、萨赞科夫组（晚中新统）和别洛戈尔斯克组（上新统至第四系下部）。

二、大地热流

有关盆地的大地热流值资料较少。据 Ю. Х. 马利舍夫、Б. Н. 丽毕娜的资料，盆地的平均热流值为 57.94 mW/m^2（即 1.39HFU），地温梯度为 3.8°/100m；与松辽盆地相比要小（松辽盆地的热流值和地温梯度分别为 1.44HFU 和 4.2°/100m）。

三、火山活动

在晚侏罗世至早白垩世期间，盆地内发生了酸性和基性火山岩的喷发，主要为安山岩和流纹岩。

四、含油气性

从吉雅—布列亚盆地的演化历史来看，在晚侏罗世期间它和松辽盆地一起，由于热胀隆而裂开，在早白垩世因热沉降而进入坳陷发育的阶段。它和松辽盆地具有十分类似的演化历史，所形成的盆地总体构造特征也很相似。当松辽盆地在晚侏罗世接受陆相沉积时，吉雅—布列亚盆地的西北部仍为海相、滨海相沉积；早白垩世末期，该盆地再一次遭受较大规模的海侵，发育了海相地层；而松辽盆地仅接受海水的灌入，海相地层不发育。由此可以看出，吉雅—布列亚盆地有机质的富集和保存条件都比松辽盆地要好，烃源岩的有机质含量高，生油层可能主要是白垩系；此外，该盆地和松辽盆地一样，具有相对较高的地温梯度，为有机质的转化提供了有利的条件。同时，该盆地具有的坳隆相间的构造格局为烃类的形成与运移提供了十分有利的场所。所有这一切都可以证明吉雅—布列亚盆地具有较好的油气远景。列尔蒙托夫—别洛戈尔斯克坳陷和波亚尔科沃—叶卡捷林诺夫卡坳陷应是该盆地的Ⅰ类远景区。

1959年对盆地开始大规模的油气勘探，完成了大量的油气普查工作，其中包括区域地震勘探、地震详查、大地磁测，对全区进行了重磁测量、中小比例尺的地质测量，编制了有关盆地物理场的图件。在盆地内共打了1000多口井，但其中仅70口井的深度超过500m。这里的油气勘探工作在1973年由于对东、西西伯利亚进行集中勘探而一度停止，1984年以后又再度进行勘探工作。

吉雅—布列亚盆地与松辽盆地位于同一大地构造带上，到目前为止已发现了列尔蒙托夫—别洛戈尔斯克和波亚尔科沃—叶卡捷林诺夫卡等坳陷，根据地震资料已圈定了20多个局部构造，在部分井中已见有油气显示。但是，由于钻井数量较少且较为分散，完井深度较浅，因此，尚未发现具有工业价值的油气田。

五、小结

（1）从吉雅—布列亚盆地的演化历史来看，在晚侏罗世期间它和松辽盆地一起，由于热胀隆而裂开，在早白垩世因热沉降而进入坳陷发育阶段。它和松辽盆地具有十分类似的演化历史，所形成的盆地总体构造特征也很相似。

（2）盆地的平均热流值为57.94 mW/m^2（即1.39HFU），地温梯度为3.8℃/100m；与松辽盆地相比要小（松辽盆地的热流值和地温梯度分别为1.44HFU和4.2℃/100m），加上其盆地规模较小，沉积物充填的厚度较薄，这就决定了该盆地不可像松辽盆地那样形成大型的油气田。

（3）吉雅—布列亚盆地有机质的富集和保存条件都比松辽盆地要好，烃源岩的有机质含量高，生油层可能主要是白垩系；此外，该盆地和松辽盆地一样，具有相对较高的地温梯度，为有机质的转化提供了有利的条件。同时，该盆地具有的坳隆相间的构造格局为烃类的形成与运移提供了十分有利的场所。所有这一切都可以证明吉雅—布列亚盆地具有较好的油气远景。

（4）吉雅—布列亚盆地的实际油气勘探程度较低，到目前为止尚未发现具工业价值的油气田，仅在列尔蒙托夫—别洛戈尔斯克坳陷的几口井中见波亚尔科沃组有油气显示。

（5）列尔蒙托夫—别洛戈尔斯克坳陷和波亚尔科沃—叶卡捷林诺夫卡坳陷应是该盆地的

Ⅰ类远景区。

参考文献

王骏，王东坡，C. A. 乌沙科夫. 1997. 东北亚沉积盆地的形成演化及其含油气远景. 北京：地质出版社

王骏，王东坡，刘立等. 1997. 裂谷盆地的成因机制及其含油气性. 长春地质学院学报，27（1）

唐克东，王莹，何国琦等. 1995. 中国东北及邻区大陆边缘构造. 地质学报，69（1）

A. H. Дмитриевский. 1995. 沉积盆地的分类及其含油气性评价的构造—岩性标准. 国外油气勘探，7（2）

Kirillova G L. 1994. The Cretaceous in the Russian Far East. The Cretaceous System in East and South Asian. Research Summary. Newsletter Special Issue IGCP 350，10～15

Кирилова Г Л. 1994. Сравнительная характеристика внутриконтинентальных рифтовых бассейнов восточной Азии：Амур—Зейский. Тихоокеансая геология

第四节　科曼多尔盆地

科曼多尔（Commander）盆地位于白令海西部，东侧的希尔绍夫（Shirshov）海底山脉将其与阿留申（Aleutian）盆地隔开（图1—4—1）。该盆地属于弧后扩张运动而形成的一个边缘拉张盆地。

一、区域地质

勘察加—白令海边缘的现代构造是由中新统的岩浆岩—变质岩形成的叠瓦状构造带和褶皱带组成，它们形成了造山坳陷和火山岩盖层范围内独立的晚新生代磨拉石褶皱基底。这些构造构成了科曼多尔深水盆地的西界和北界。科曼多尔深水盆地的重要特点是晚新生代的黑色页岩特别发育，且它们直接覆盖在大洋的硅质火山岩层之上。

盆地在地貌上可分为两大部分——大陆斜坡区和深水坳陷区。盆地的大陆斜坡部分由必尔金—卡拉金褶皱带所组成，奥柳托尔斯基（下帕哈奇）坳陷位于其东北部。

传统观点认为该扩张运动是分散型的，其构造格局表现出一个北西走向的扩张轴，而在盆地中部转为近南北向扩张轴。一种新构造格局认为其扩张轴为近南北—北东走向。

科曼多尔盆地的盆底是一个由北向南平稳下倾的堆积平原。在总的下倾背景上，盆地南部有一些不大的隆起，其隆起幅度为几百米，在白令岛附近有一个大型火山岩地块及相伴生的一个地堑。

1. 盆地演化

1）基底

在盆地内，沉积盖层之下的基底具有极不相同的声学性质（反射层Ⅳ）或反射特征。基底有几个北西走向的断裂带，这些断裂带从勘察加的大陆坡底部延伸到希尔绍夫山脉。在基底面上断裂带表现为幅度1 500 m的线状隆起带和与其相连的坳陷带，坳陷带中堆积了厚度2 000多米的沉积层。从南到北有5个断裂带：白令断裂带、α断裂带、伽马断裂带、Δ断裂带和ε断裂带。

根据勘察加大陆坡和希尔绍夫山脉山麓的形态变化以及在Δ断裂带西北部存在的马尾

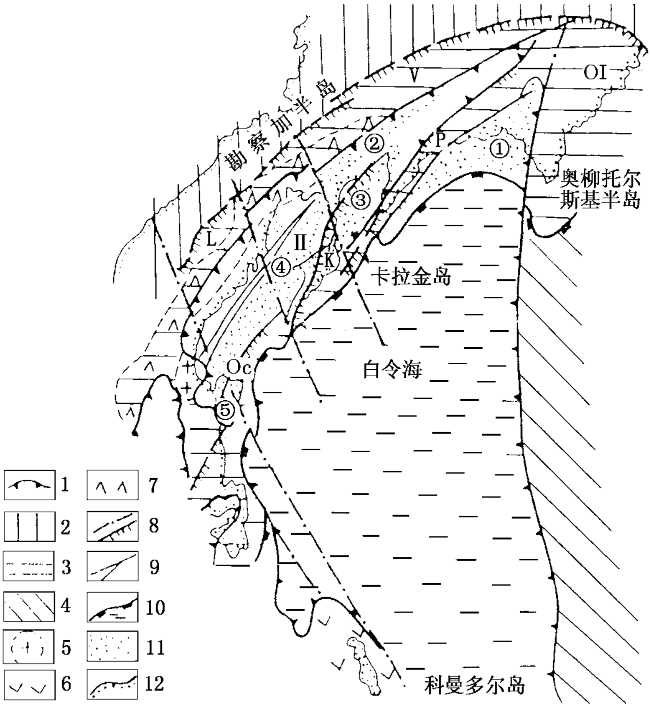


图 1—4—1　科曼多尔盆地构造示意图

（据 Ю. К. 布尔林，1991）

1—盆地边界；2—阿纳德尔—科里亚克褶皱体系；3—奥柳托尔斯基—勘察加褶皱体系；4—希尔绍夫海岭；5—哈维文地块；6—阿留申岛弧；7—中勘察加火山隆起；8—断裂；9—奥索拉隆起；10—大陆斜坡和科曼多尔坳陷；11—凹陷；12—海岸线；逆掩断层附近的叠瓦状构造带；Ⅰ—奥柳托尔斯基—科曼多尔盆地；Ⅱ—伊利佩尔斯基—卡拉金盆地；①奥柳托尔斯基凹陷；②维文卡凹陷；③科尔夫凹陷；④李特肯凹陷；⑤马伊姆林凹陷；OI—奥柳托尔斯基构造带；V—韦特韦伊构造带；L—列斯诺夫构造带；P—必尔金构造带；K—卡拉金构造带；Oc—奥泽尔诺夫斯基构造带

型构造来判断，可以认为这些断裂均为平移断裂。白令断裂带在地震震源区存在平移运动，在 α 断裂带存在羽状挤压和拉张构造。至少在 3 个断裂带（白令断裂带，α 断裂带和伽马断裂带）确定是不连续的断裂带，而是由一系列月牙形断裂段所组成。

在北西方向地震剖面上，可明显看出，在大陆坡底部沉积岩厚度最大可达 3 000 多米，在盆地中部减少到 500～1 000m，在局部地方基底出露，到希尔绍夫山脉厚度又再增大至 1 500～2 000m。

盆地基底面形态总的是阶梯状，阶梯宽度从几千米到 10～20km，高度为几百米。在盆地西部阶梯的上部表面向北西方向平缓倾斜，向南东方向陡倾跌落（图 1—4—2a），这种情况可以和大洋（或大陆）裂谷带倾斜的正断层阶梯相对比。这些阶梯呈北东走向，同上述转换断裂带几乎呈直角相交。

Ukelayat 带白垩系 Maastrichtian 阶复理石形成于洋壳深海坳陷。来自 Koryak 山的山崩岩屑进入盆地以滑塌和透镜体的形式沉积下来。同时盆地沉积了与火山活动相关的硅质岩。

白垩纪末期，Vyvenka—Vatyna 带最早的沉积物（拉斑玄武岩复合体）是非均一的，其主要成分组合是扩张带的玄武岩，而次要的组合则表现出过渡带到岛弧玄武岩。白垩系 Maastrichtian 阶其他的火山岩都属于钙碱系列，并与凝灰岩、硬砂岩和碎屑岩互层。岩屑成分向上逐渐增加，出现浅水环境下的砾岩、角砾岩、凝灰砂岩和火山砂岩。

2）拉张期（或裂陷期）：中新世至更新世

区域上最大的地质事件是中新世的碰撞，形成中新世中期的区域不整合、变形、地壳重叠和沉降终止。岛弧抬升形成的变形岩层和增生体构成新的大陆边缘。

碰撞发生后，科曼多尔盆地开始扩张，内部形成新的洋壳。作为补偿，东部发生地壳重叠，在推测的转换断层周围形成海底希尔绍夫山脉；扩张轴的西部在解体的岛弧过渡地壳之下的洋壳发生下沉。

始新世—第四纪早期，形成了 Kamchatka 海峡的钙碱性火山，科曼多尔岛弧向现今的

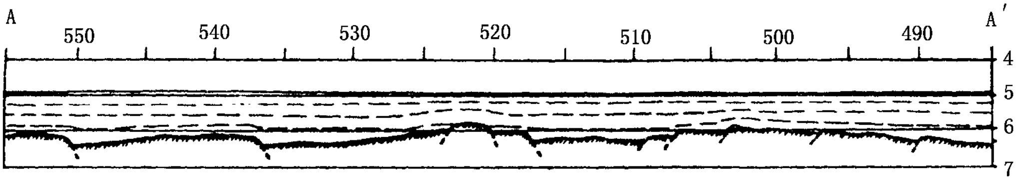


图 1－4－2a　**扩张中心** AA′**地震反射时间剖面图**（**据** B. E. Пребставлеко акабемμком，1988）

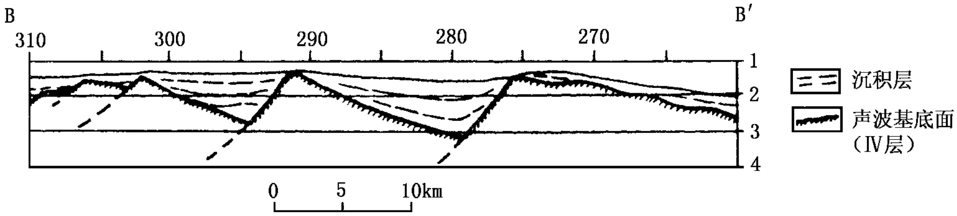


图 1－4－2b　**希尔绍夫山脉顶部** BB′**地震反射时间剖面图**

（**据** B. E. Пребставлеко акабемμком，1988）

位置移动，以及在陆上沿扩张轴形成 Pakhacha—Apuka **裂谷**（**图** 1－4－3）。

根据现有资料，在盆地内可划分出 4 **个拉张中心，它们具有近南北—北东走向，并且沿转换断裂发生相对移位。从南向北，第** 1 **个拉张中心是在科曼多尔地堑区及相关的火山岩地块。第** 2 **个拉张中心位于** β **隆起区。第** 3 **个拉张中心是在盆地基底的抬升区。第** 4 **个拉张中心就是盆地基底的地堑型坳陷，在坳陷中央有一个对称型隆起，它是一个位于拉张轴之上的火山岩隆起。**

根据 191 **号井下玄武岩的研究，科曼多尔盆地洋壳的扩张和形成过程开始于中新世中期**（9.3±0.8Ma **前**）。**但是根据地震波形特征，新形成的洋壳仅分布在** Δ **断裂带以南地区，在该断裂带以北的盆地区块显然是由一些倾没并改造过的地壳块体组成，这些地壳块体在拉张运动中同勘察加和什尔山脉分离。沿着什尔山脉西坡以及南面地区也存在类似的倾没地壳块体。**

过去认为希尔绍夫山脉是补偿科曼多尔盆地扩张而形成的一个堆积带或从周围陆块脱离出来的一个地壳块体。现地震资料证明第 2 **种推测较为可信，据此在希尔绍夫山脉区可划分出反映其不同形成阶段的** 3 **种构造格局。**

第 1 **个最老的构造格局反映在希尔绍夫山脉平缓的东坡结构上。该斜坡几乎完全被厚几百米至** 2～3km **的沉积层所覆盖**（**坳陷中厚，隆起上薄**）。**盆地基底面切割性很强，但并未伴随着其上沉积层的变形，因此可以认为，基底面起伏的形成基本上是在沉积作用发生以前，即在中新世以前**（**据** 190 **号井资料**）。**在山脉东坡上的坳陷和隆起具有北东—北北东走向。**

第 2 **个构造格局反映在山脉的高峰部分和西斜坡，它们是由一系列近南北走向的羽状台阶所组成，并被铲状正断层所限制**（**图** 1－4－2b）。**在离此山脉** 100km **的盆地内也能见到这种台阶块体，证明存在拉张运动。**

第 3 **个构造格局也在山脉西坡，是由一系列山脊和坳陷组成，它们具有北北西走向，与正断层台阶走向呈约** 40°。**山梁切割台阶。在基底以及在山脊和坳陷的沉积层中能看到逆冲体和逆掩断层标志，并具有类似上述的走向，说明发生过较新的挤压变形，沿西斜坡存在右**

旋位移。

对科曼多尔盆地和希尔绍夫山脉的研究证明本区广泛存在拉张构造。勘察加和希尔绍夫山脉曾是一个统一体，由于科曼多尔盆地内发生的扩张运动而分离，其扩张轴具有北东方向。扩张运动开始于中新世中期，其主要扩张期结束于上新世—更新世。在希尔绍夫山脉东坡和西坡分布的挤压型构造相应地为较老和较新的构造，是由沿山脉的平移运动形成的。

3）热沉降期：更新世晚期至今

在科曼多尔深水盆地中，用 1 000m 的等厚线可以在大陆斜坡附近划分出巨大的北科曼多尔坳陷。这一坳陷中晚新生代浊积成因的含硅藻陆源沉积的厚度可达 3 000m 以上。

岛弧和相关的地质体在东亚大陆边缘的反复增生是本区的基本特征。主要的增生期是中新世中期。一种有关科曼多尔盆地和东部希尔绍夫海底山脉演化的假设认为：在 Olyutorskiy 地块与 Koryakia 北部的增生体系发生碰撞后，科曼多尔盆地发生张裂。当该地块移向欧亚大陆边缘时，其后的（东侧）科曼多尔古洋壳与阿留申地壳相互作用，形成希尔绍夫海底山脉。随着应力的重新分布，在其西翼形成一裂谷，然后形成一向西迁移的扩张带。为补偿新形成的地壳，其西侧解体的 Olyutorskiy 地块下较重的古科曼多尔洋壳发生沉降，东侧希尔绍夫海底山脉出现地壳重叠。

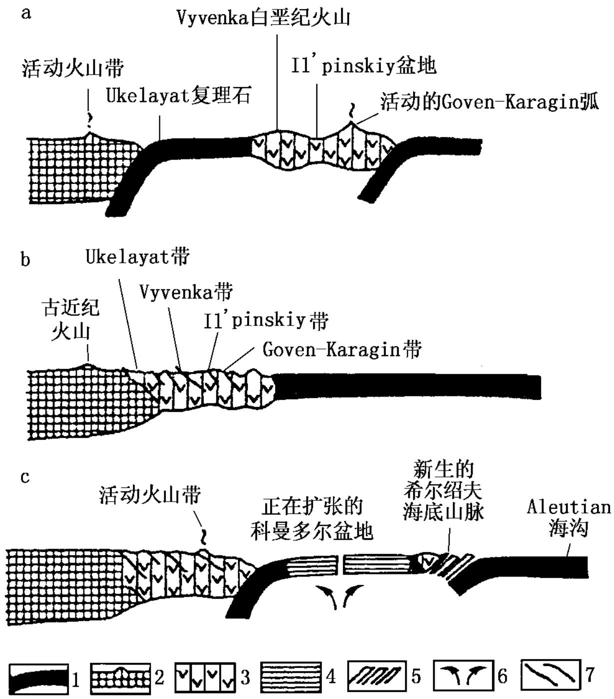


图 1—4—3 西白令海地区古地质演化图

（据 N. A. Bogdanov 等，1990）

a. 始新世—P_2；b. 中新世—N_1；c. 上新世—N_2；

1—大洋壳；2—大陆壳；3—岛弧；4—科曼多尔盆地新形成的地壳；5—希尔绍夫山脉的沉积盖层；6—扩张带；7—断层

2. 地层简介

奥柳托尔斯基—科曼多尔盆地的新生代地层具有明显的多种沉积相特征。该区不存在大的区域性不整合，但局部不整合面或建造内的冲刷面广泛发育。横向相变明显，且由于大量的不整合面存在，致使单个岩层的透镜状构造十分发育，这证明在其形成和沉降中心运移过程中存在着很强的构造活动。盆地基底的强烈活动决定了滑塌沉积特别发育，它们主要是通过不同密度的浊流、颗粒流以及高密度的低速流来实现的。

盆地的基底是由发育于必尔金叠瓦状构造带和卡拉金部分地区的白垩纪至早第三纪的硅质火山岩和火山碎屑岩层所组成，其形成是由于深海区的水下火山喷发。纵向上被黑色页岩组合和复理石组合所覆盖或在横向上被它们所取代（图 1—4—4）。

黑色页岩组合发育于水下火山岭之间的深水坳陷中陆源碎屑物质供给不足的情况下。在奥柳托尔斯基—科曼多尔盆地的科曼多尔坳陷内，钻孔钻遇了覆盖在基岩之上的成分和成因

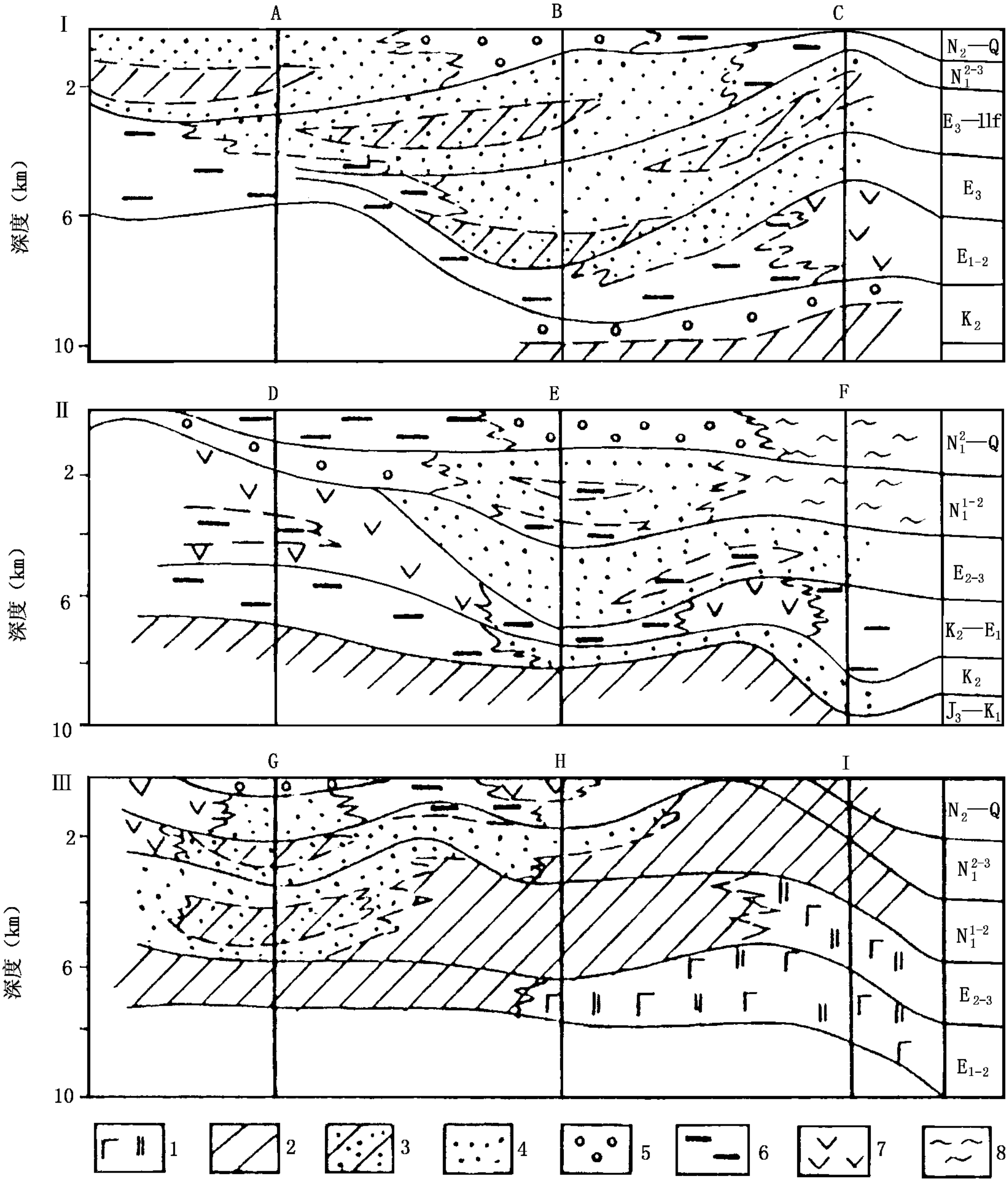


图 1—4—4　奥柳托尔斯基—科曼多尔盆地岩石地层剖面图

（据 B. E. 阿尔黑波夫等，1986）

1—硅质火山岩沉积；2—黑色页岩和复理石杂砂岩沉积；3—类复理石陆源沉积和硅藻—凝灰质陆源沉积；4—造山作用阶段的海相细粒沉积；5—海相粗粒沉积；6—滨海相含煤的陆源沉积；7—陆表火山碎屑沉积；8—超地台阶段的细粒海相沉积；Ⅰ—鄂霍茨克—勘察加盆地（A—京罗坳陷；B—科尔帕科夫斯基坳陷；C—季吉尔坳陷）；Ⅱ—阿纳德尔盆地（D—勘察朗坳陷；E—迈尼茨基坳陷；F—东阿纳德尔坳陷）；Ⅲ—中勘察加—伊利佩尔斯基盆地和奥柳托尔斯基—科曼多尔盆地（G—李特肯凹陷；H—下帕哈奇凹陷；Ⅰ—北科曼多尔坳陷）

类似的中新世陆烃源岩层。在坳陷的西部和西北部沉积盖层是由统一岩性组合的岩石所组成，其厚度可达 4 000m。

黑色页岩组合的典型剖面是由单一的硅质粉砂岩组成，含有与其共生的厚层细碧岩、粗凝灰岩和燧石透镜体。火山岩的含量在走向上并不稳定，有时剖面可以是全部由硅质粉砂岩所组成。

在纵向上覆盖黑色页岩或在横向上取代黑色页岩的复理石组合在该地区广泛发育。复理石层形成于大陆斜坡底部或大陆斜坡上的坳陷中，并有大量的碎屑物质以快速的浊流形式从盆地边部进入其中。

在奥柳托尔斯基海湾地区，复理石组合厚度大，分布广，但年龄范围变窄，为中新世至早中新世。在该区北部复理石为陆源成分和凝灰质—陆源成分，在南部为硅质—凝灰质—陆源成分（勘察加海峡剖面，包括维雷夏金组、里伏瓦雅组、巴克拉诺夫组）。

在科曼多尔坳陷中，复理石组合的时代是晚中新世至上新世，为具有薄韵律层理的含硅藻的泥岩和粉砂岩。

复理石组合在空间上与类复理石（布丁）组合紧密相关，类复理石组合可以是凝灰质—陆源的（北区）或凝灰质—硅质—陆源的（南区）。布丁组合的年龄向科曼多尔深水坳陷方向逐渐变新，由在伊利佩尔斯基—卡拉金盆地中的始新世至在中新世变为奥柳托尔斯基—科曼多尔盆地中的晚中新世至上新世。

在巨大的断裂带附近，复理石和布丁组合与崩塌—滑坡成因的粗碎屑岩层紧密共生。它们广泛发育于奥柳托尔斯基—科曼多尔盆地和伊利佩尔斯基—卡拉金沉积盆地之间的隆起带上的始新世和中新世地层中（图 1—4—5）。布丁岩层和横向上取代它们的浅海相和陆相的含煤岩都是渐新世—新近纪的磨拉石建造。

渐新世该地区为陆棚沉积环境。Pakhacha—Apuka 河间地带、Il′pinskiy 海角和 Korf 湾地区为较深水碎屑沉积环境，无火山沉积物。西部 Karagin 岛有厚约 1 000m 的砂岩—粉砂岩层序，火山活动相对较弱。南部科曼多尔岛除碎屑岩外，还有巨厚的火山岩（镁铁质为主）和火山碎屑岩。

中新世早期，盆地没有发生剧烈的构造运动，渐新统和中新统为完全整合关系。中新世早期的沉积以陆棚为主，水深比渐新世浅。盆地东北部和东 Kamchatka 地区，有较厚的粗粒、磨拉石碎屑岩地层。盆地北部沉积了相当厚（平均 1 000m）的浅水碎屑岩，无火山岩。西部 Karagin 岛地区火山活动活跃，海盆内出现火山碎屑物质。在科曼多尔岛有火山岩喷发。科曼多尔盆地中的 191 钻孔中缺失中新统到下上新统的沉积。

中新世早至中期，Korf 湾地区火山活动活跃，凝灰质砂岩上覆盖滨浅海和近地表条件下形成的安山岩和安山岩—玄武岩。其间，在整个地区存在一个沉积间断。

在中新世中期，科曼多尔盆地北部抬升，沉积了一套陆相海退层序。海相沉积面积变小，Pakhacha 坳陷沉积 Korf 组含煤砾岩和砂岩；Korf 湾地区为 Medvezhka 组陆相沉积；Il′pinskiy 海角沉积缺失。

盆地西部（Karagin 岛）中中新统为海相沉积。科曼多尔岛为浅海凝灰质砂岩和火山岩。

中新世晚期，北部继续抬升。Pakhacha 坳陷继续沉积 Korf 组含煤地层；Korf 湾地区形成 Classic 组陆相沉积；盆地西部（Karagin 岛）为火山成因沉积。

中新世晚期结束时具有明显的沉积间断，可能出现总体抬升和褶皱。全区上新统不整合在变形后的中新统沉积之上。

上新世晚期科曼多尔盆地沉积了硅藻软泥和粉砂岩；Karagin 岛地区为一套浅水层序，

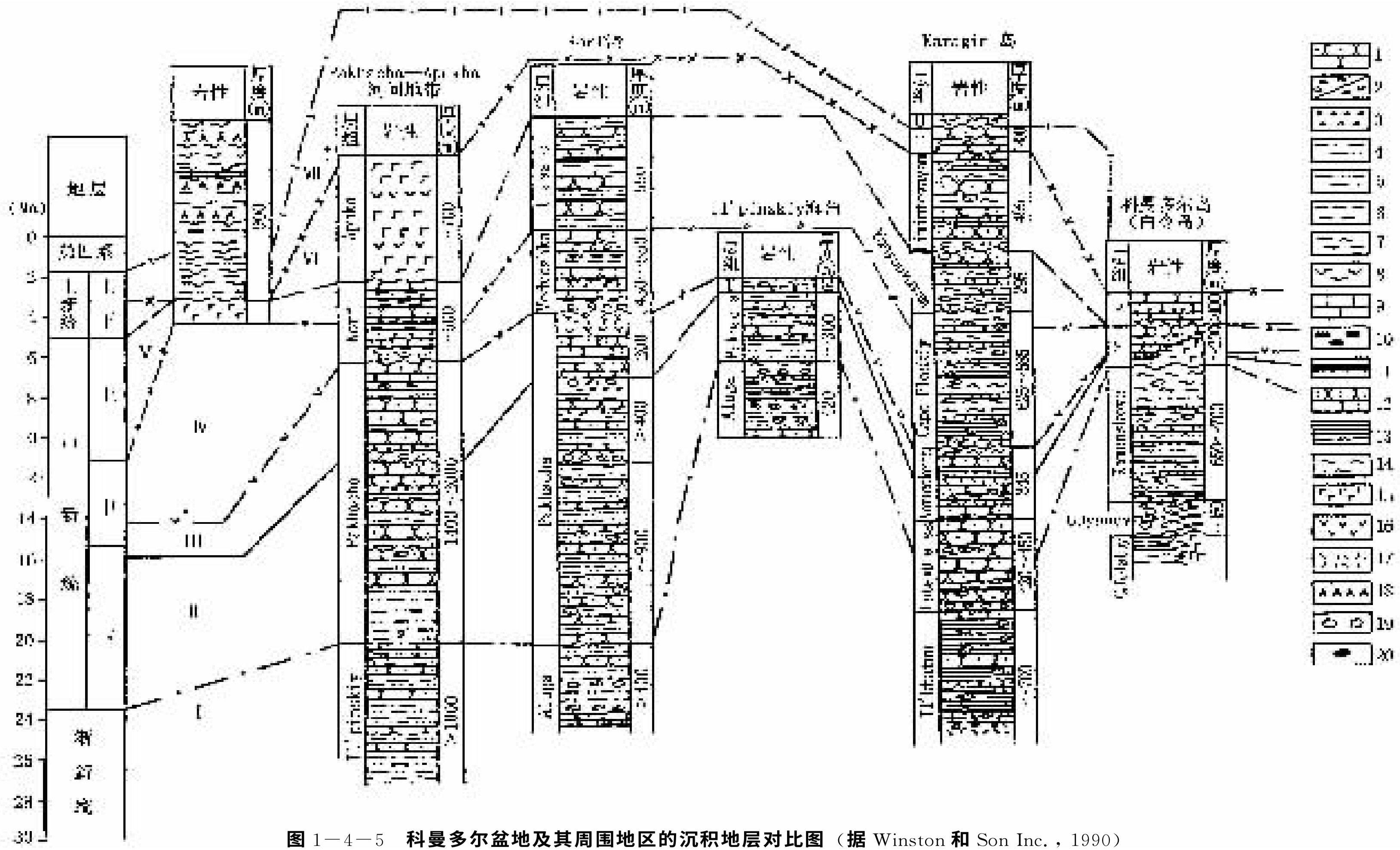


图 1—4—5　科曼多尔盆地及其周围地区的沉积地层对比图（据 Winston 和 Son Inc.，1990）

1—砂岩；2—砾岩、凝灰质砾岩；3—硬砂岩；4—粉砂岩；5—泥岩；6—粘土；7—硅藻土；8—含硅藻软泥；9—灰岩；10—煤；11—腐殖土层；12—凝灰质砂岩；13—凝灰质粉砂岩、凝灰质泥岩；14—蛋白土；15—玄武岩；16—安山岩；17—凝灰岩；18—凝灰火山灰层；19—结核沉积；20—冰盖卵石

包括粗砂岩、砾岩和砂岩。由于晚上新世气候寒冷，盆地周边地区和深钻孔中出现冰盖卵石。

科曼多尔盆地周边南部和北部的地质发育既具有相似性，又有明显的差异。相似性表现在渐新世普遍沉降后，晚第三纪都发生抬升；差异表现在北部的沉积环境由渐新世较深水环境变为新近纪较浅水环境，甚至陆相沉积；而西部和南部由较深水环境变为较浅水环境。

二、大地热流

无系统的地热资料。

三、火山活动

如果将 Vyvenka—Vatyna 带作为一个整体，此带应属于硅镁质岛弧，活跃的火山活动在古新世初已停止。

这时，在 Koryal 大陆地块边缘附近的 Ukelayat 深海盆地的洋壳开始下沉，导致硅铝层火山带（称为 Kuyul 或西 Kamchatka—Koryak 带）开始活动。

Kuyul 火山带的东部有一深层海沟，其沉积物为海退沉积，粗碎屑沉积物质向上增加。欠补偿沉积条件逐渐被补偿沉积取代，到渐新世初岩石经沉积作用形成增生体。

再向东有一复杂的岛弧体系，由 Vyvenka 隆起、Il′pinskiy 坳陷和活动的 Karagin—Goven 火山带组成。古新世—始新世 Il′pinskiy 坳陷东南部火山碎屑沉积增加，表明当时坳陷占据着岛弧或岛弧间的空间。坳陷的中部未见火山活动的迹象，仅有夹复理石层的碎屑地层。因此，Il′pinskiy 坳陷在其形成初期较宽，后期变窄。

Karagin—Goven 岛弧是由众多岛屿和隆起组成，其间为较浅的坳陷分隔。火山活动非常强烈，喷出大量火山碎屑物质，有些碎屑非常粗，形成角砾岩和巨砾岩层。地形剧烈起伏，表明整个岛弧系统具有强烈的地震活动。

岛弧以东为深海沟和沉降带，混杂堆积沉积物形成 Karagin 岛。

在渐新世，Karagin—Goven 岛弧下洋壳的沉降停止，岛弧快速抬升接近 Koryak 高地东北的次大陆地块。发育了一系列横向构造，由火山带—海沟—边缘海组成的活动边缘和不活动的岛弧隆起及其前缘的增生楔状体。

中新世晚期，科曼多尔岛的 Mednyy 岛为火山岩，而白令岛为沉积间断，科曼多尔盆地出现广泛的拉斑玄武岩喷发。

上新世早期 Pakhacha 坳陷有强烈的玄武岩、安山岩和英安岩近地表喷发。表明总体的褶皱和抬升后，火山活动重新开始活跃，在东 Kamchatka 形成上新世火山带。科曼多尔岛为浅海火山碎屑岩和火山岩地层。

四、含油气性

由于科曼多尔盆地形成的时间较晚（中新世至今），加上火山活动的频繁出现，使该盆地中可能的烃源岩（硅藻泥岩和含煤地层）难以成熟或未能生、排烃。因此，迄今为止，在该区没有进行过较为详细的石油地质勘探工作。

五、小结

（1）岛弧和相关的地质体在东亚大陆边缘的反复增生是科曼多尔盆地演化的基本特征。主要的增生期是中新世中期。在 Olyutorskiy 地块与 Koryakia 北部的增生体系发生碰撞后，科曼多尔盆地张裂。当该地块移向欧亚大陆边缘时，其后的科曼多尔古洋壳与阿留申地壳相互作用，形成希尔绍夫海底山脉。随着应力的重新分布，在其西翼形成一裂谷，然后形成一向西迁移的扩张带。为补偿新形成的地壳，其西侧解体的 Olyutorskiy 地块下较重的古科曼

多尔洋壳发生沉降，东侧希尔绍夫海底山脉出现地壳重叠。

（2）另一种观点认为科曼多尔盆地和希尔绍夫山脉存在广泛的拉张构造。勘察加和希尔绍夫山脉曾是一个统一体，由于科曼多尔盆地内发生的扩张运动而分离，其扩张轴具有北东方向。扩张运动开始于中新世中期，其主要扩张期结束于上新世—更新世。在希尔绍夫东坡和西坡分布的挤压型构造，是由沿山脉的平移运动形成的。

（3）科曼多尔盆地周边南部和北部的地质发育既具有相似性，又有明显的差异。相似性表现在渐新世普遍沉降后，晚第三纪都发生抬升。差异表现在北部的沉积环境由渐新世较深水环境变为晚第三纪较浅水环境，甚至陆相沉积。而西部和南部则由较浅水环境变为较深水环境。

（4）迄今为止，在该区没有进行过较为详细的石油地质勘探工作。

参 考 文 献

王骏，王东坡，C. A. 乌沙科夫 . 1997. 东北亚沉积盆地的形成演化及其含油气远景 . 北京：地质出版社

Arkhipov V Ye，Ivanov M K，1989. Structure and Catagenic Alteration of Cenozoic Sediments of Karagin Island and Ozer Peninsula（East Kamchatka），Petrol Geol，Vol 23，No. 11－12

Clarke J W. 1988. Sedimentary Basins of Northeastern Ussr，Us Geol Surv Open－File Rep No. 88－264

Geodekyan A A，Neprochnov Yu P，Sedov V V，1985. Geological，Geophysical，and Gas Biogeochemical investigations in the Bering Sea，Sovet Geol，No. 3

Bogdanov N A，Gladenkov A Yu，Tilman S M. 1990. Geology of the Western Bering Sea Region，int Geol Rev，Vol. 32，No. 12

Golubev V M. 1992. Tectonics and Petroleum Potential of the Bering Sea Bottom，1st Us Dep interior Mms Alaska Ocs Reg Arctic Margins int Conf（Anchorage，Ak，9/2－4/92）

Muzurov E L，Baranov B V，Borisenko Yu V. 1989. Spreading in the Commander Basin and Structure of the Shirshov Ridge，Dokl Akad Nauk Sssr，Vol. 305，No. 5

Shipilov E V. 1988. Structure of the Sedimentary Cover of the Western Bering Sea，Izv Akad Nauk Sssr，Ser Geol，No. 1

Varnavskiy V G，Kirillova G L，Krapiventseva V V. 1993. Characteristics of Lithologic－Structural Associations of Complexes of the Sedimentary Basins（Far East）：Pt. 1，Petrol Geol，Vol. 27，No. 3－4

Varnavskiy V G，Kirillova G L，Krapiventseva V V. 1993. Characteristics of Lithologic－Structural Associations of Complexes of the Sedimentary Basins，Petrol Geol Vol 27，No. 1－2

Varnavshiy V G. 1993. Geologic Position and Structure of Sedimentary Basins，Petrol Geol，Vol. 27，No. 1－2

第五节　上布列亚盆地

上布列亚（Upper Bureya）盆地是俄罗斯远东 Khanbarovsk 及阿穆尔（Amur）州 Khingan—Buyreya 地块东缘的一个山间盆地，它位于早中生代蒙古—鄂霍茨克（Mongol—Okhotsk）褶皱带和新生代 Sikhote—Alin 褶皱带的结合部。盆地的走向大致为南北向，其西边为 Turan 山脉，北面和东面为布列亚（Bureya）山脉。盆地内部构造受线状断裂带（如 Urgal 和 Kyndaly 断裂）的控制（图 1－5－1），这些断裂带把盆地分成许多区块：2 个隆起（Yorik 和 Chegunda 隆起）和 4 个坳陷（Kyndaly 坳陷、中央坳陷、西部坳陷、东部坳陷）。最北面的 Yorik 区块与北西—南东走向的 Obodzha 地堑（上布列亚盆地的一个坳陷）构成了一条清晰的边界。尽管有的学者认为上布列亚盆地基底在盆地中部和 Kyndaly 区块最大埋深达 9 000m，但根据地震资料，大多数人认为最大深度为 4 500m。

一、区域地质

1. 盆地演化

上布列亚盆地位于蒙古—鄂霍茨克褶皱带东端的南面，该褶皱带为早中生代阿穆尔微大陆与西伯利亚南缘碰撞所形成。它还受到晚白垩世 Sikhote—Alin 褶皱带和其后的太平洋新生代褶皱带变形的影响。因此，在上布列亚盆地发育了 4 个构造—地层单元。

1）基底

石炭纪时，古 Khingan—布列亚地块位于阿穆尔微大陆的南端，蒙古—鄂霍茨克洋把后者与西伯利亚大陆分开。二叠纪时，由于阿穆尔微大陆绕其北端逆时针方向旋转，使大洋开始闭合，洋壳俯冲到阿穆利亚（Amuria）下面，该区的北部首先与西伯利亚相撞，形成早二叠世东蒙古火山活动带。俯冲结束于晚二叠世至中三叠世之间，沉积了一套陆相和滨海相碎屑岩。中国北方大陆与阿穆尔陆块的缝合带在晚三叠世关闭了古特提斯洋的东端，形成了内蒙褶皱带，这也许是引起蒙古—鄂霍茨克洋重新闭合的契机，并开始向西伯利亚南缘下俯冲。这次大陆碰撞导致上布列亚盆地的抬升并遭受剥失。因此该盆地的基底由古老的火成岩和变质岩组成，其上部为遭受变形和变质的碎屑岩、火山岩和火山碎屑沉积物。

2）裂谷和被动边缘单元：早侏罗世至晚侏罗世启莫里阶（*Kimmeridgin*）（208—152.1 *Ma*）——拉张及被动边缘发育期

三角形的蒙古—鄂霍茨克洋在早侏罗世时继续闭合，至中侏罗世完全封闭，形成了蒙古—鄂霍茨克褶皱带，该褶皱带把西伯利亚与阿穆利亚分开。早侏罗世时，阿穆利亚东缘开始发生拉张，形成了一系列的北东—南西向的地堑，这些地堑与松辽盆地晚侏罗世断陷相似。一旦蒙古—鄂霍茨克洋关闭后，上布列亚盆地即位于太平洋的被动边缘之上。该盆地西部充填了一套浅海至滨岸相的碎屑岩地层，东部为海相泥岩和碳酸盐岩沉积。海岸线一直向西迁移，因此中侏罗世时，海岸线迁移到了盆地的轴部，接近现在 Urgal 沉积的位置。由于太平洋壳向西北俯冲，与此同时，在该区的东面发育了 Sikhote—Alin 火山弧。此后，因向东海退引起一段时间的剥失。最后，于晚侏罗世在该盆地沉积了一套厚达 2 000 m 的开阔海与弧后海之间的滨岸相碎屑岩、碳酸盐岩和凝灰岩。

3）弧后挤压单元：提通阶（*Tithonian*）（J_3）至麦斯特里希特阶（*Maastrichtian*）（K_2）（152.1—65*Ma*）——由于岛弧靠近及最终相撞导致压应力增加

到提通阶时，火山弧更接近大陆（可能是由于重新开始俯冲之故），盆地的沉降速率变

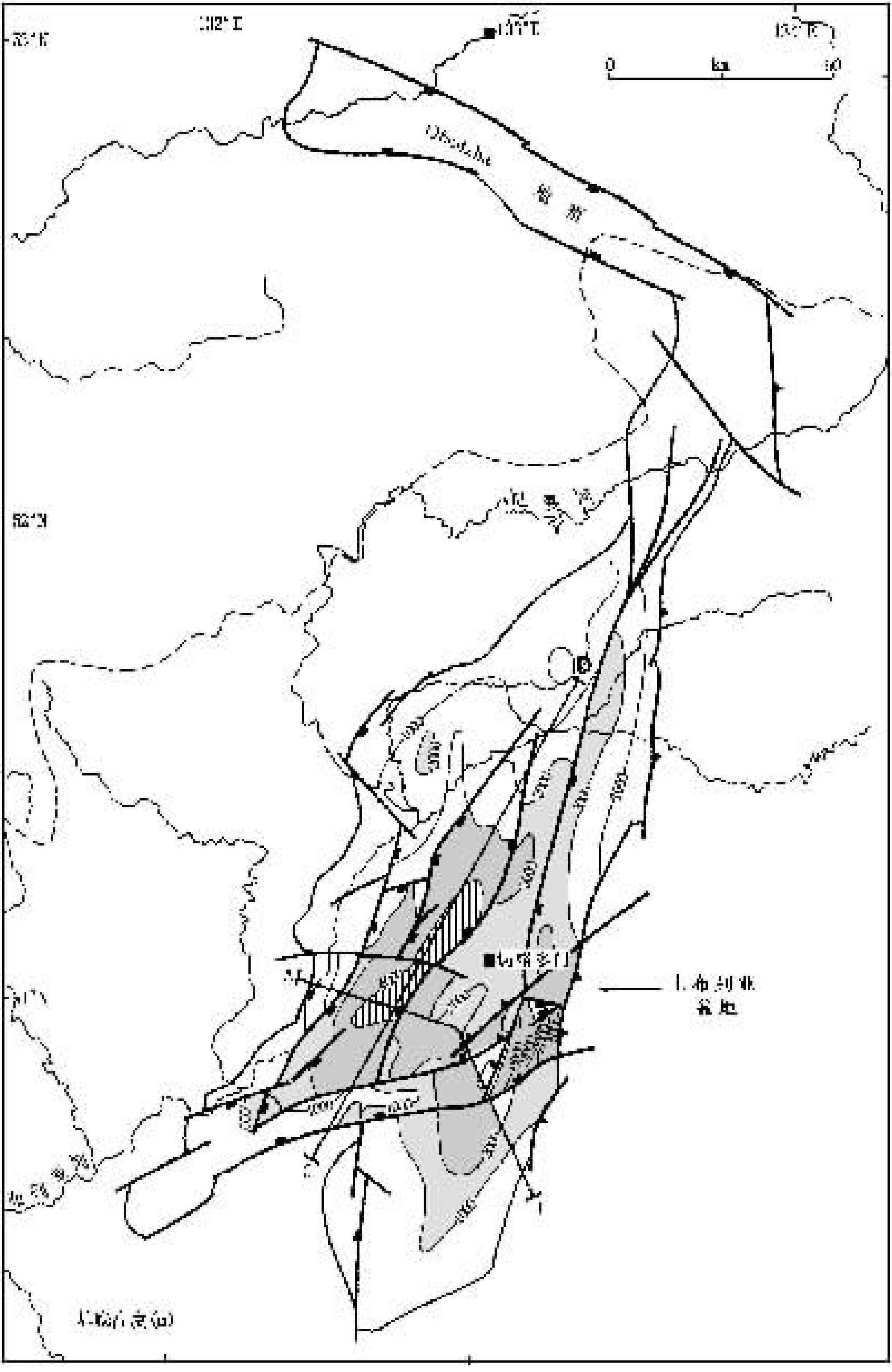


图 1—5—1　上布列亚盆地构造纲要图（**引自** Marat Modelevsky，1995）

小。发源于西面 Khingan—布列亚地块的河流向东流，在盆地的西部发现了冲积扇、河道及冲积平原沉积，向东相变为沼泽和湖相沉积。在 Hauterivian、Sikhote—Alin 岛弧与阿穆利亚的最初碰撞导致了被动边缘序列的变形，为碎屑物提供了又一物源，这些碎屑物自东注入盆地。从阿尔必阶（Albian）到西诺曼阶（Cenomanian），该盆地为一个大型的内陆湖，并且周期性与海沟通，沉积了细粒碎屑岩、碳酸盐岩和火山碎屑岩。最终的碰撞发生于晚白垩世并使盆地发生反转和褶皱作用及 Sikhote—Alin 褶皱带进一步隆起。白垩纪末期由于萨哈林（Sakhalin）岛弧与大陆碰撞导致隆起，从而使任何沉降都发生反转。

4）第三纪稳定单元：古新世至早上新世（65—3.4*Ma*）——大地构造相对平静期

在整个第三纪，东面的鄂霍茨克海内发生走滑活动，但尚不能肯定是否对上布列亚盆地有影响，此阶段无沉积（图 1—5—2）。

5）晚新生代走滑单元：晚上新世（3.4 *Ma*）至近代——沿太平洋岸的走滑运动导致盆地局部反转和再次断裂活动

晚上新世沿北海道（Hokkaido）—萨哈林剪切带到盆地东部的右旋走滑导致盆地内断层复活、盆地周围布列亚地块的抬升和盆地边界断裂的反转。这些断裂的复活为第四纪初玄武岩喷发提供了通道。

2. 地层简介

上布列亚盆地仅发育了侏罗系和白垩系（表 1—5—1、图 1—5—2）。

1）中侏罗统

由下向上可划分为 4 个组：①Umal′ta 组：由海相泥岩、粉砂岩和砂岩组成，厚度在 600～1 300m；②Epikan 组：以海相泥岩和粉砂岩为主，厚度为 900～1 000m；③El′ga 组：以海相砂岩为主，厚度在 600～1 600m；④Chagany 组：由海陆交互相的砂泥岩组成，厚度在 440m 左右。

2）上侏罗统—下白垩统

同样由下向上可分为 4 个组：①Talyndzhan 组：为陆相碎屑岩，厚度为 350～500m；②Urgal 组：由陆相泥岩、粘土岩、粉砂岩和砂岩组成，厚度变化较大，为 160～615m；③Chegdomyn 组：以陆相砂岩为主，厚约 600～750m；④Chemchuk 组：为粘土质粉砂岩、泥岩等，厚约 600m。

3）上白垩统

由 2 个组构成，由下向上分别为：①Kyndaly 组：由湖相砂岩、泥岩和粉砂岩组成，厚度在 900～1 300m；②Tsagaya 组：为陆相砂、泥岩，厚约 4 050m。

二、大地热流

大地电磁探测揭示该盆地中存在导热层，其厚度约 10km，埋深在 5～12km 之间，异常区长约 200km，宽 20km，接近于盆地最深部位的表面积。对此种现象的一种解释为这是由一增热流带的脱水作用引起的。钻井资料表明 3 000m 深处地层温度已达 100℃，将永冻带考虑进去，说明地温梯度超过 4.0℃/100m。

三、火山活动

由于早侏罗世至晚白垩世太平洋板块向西北俯冲，使盆地的东面发育了 Sikhote—Alin 火山弧。此外，该盆地在第四纪初发生过玄武岩的喷发。

四、含油气性

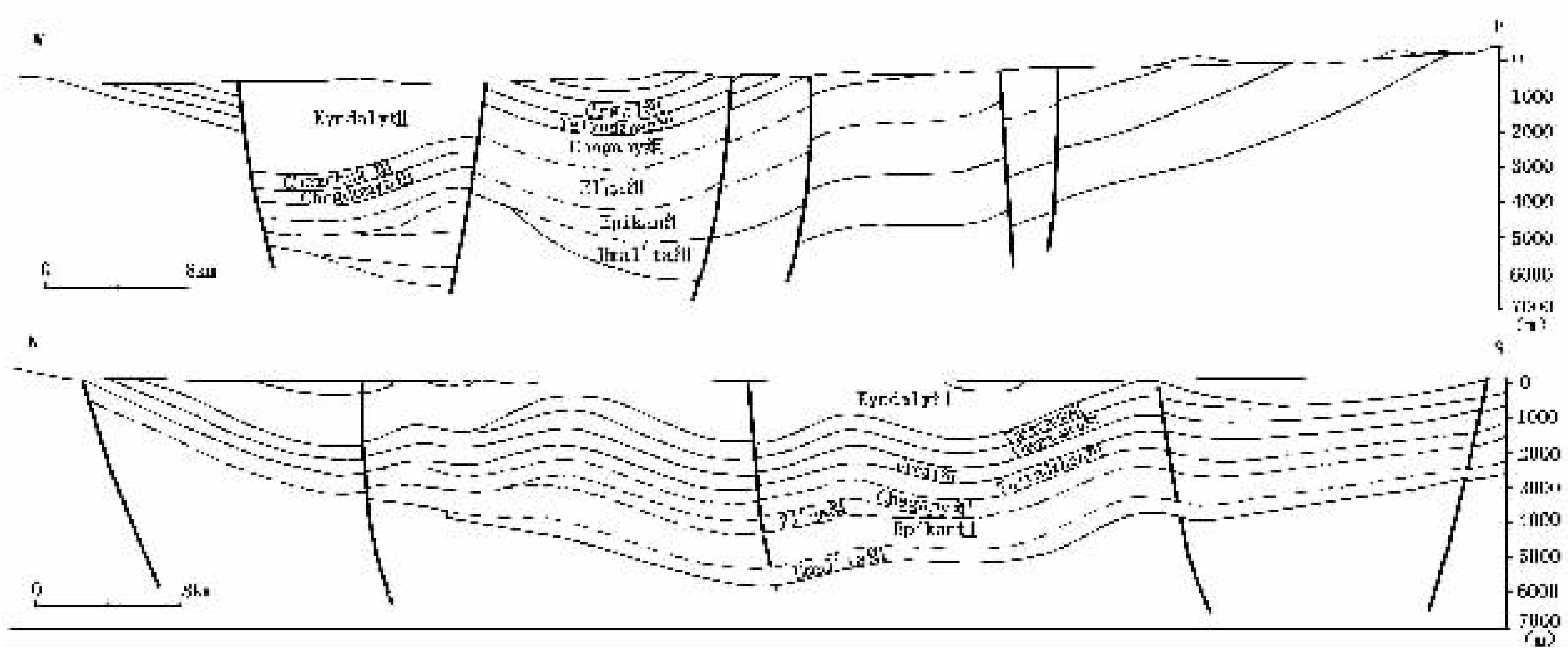
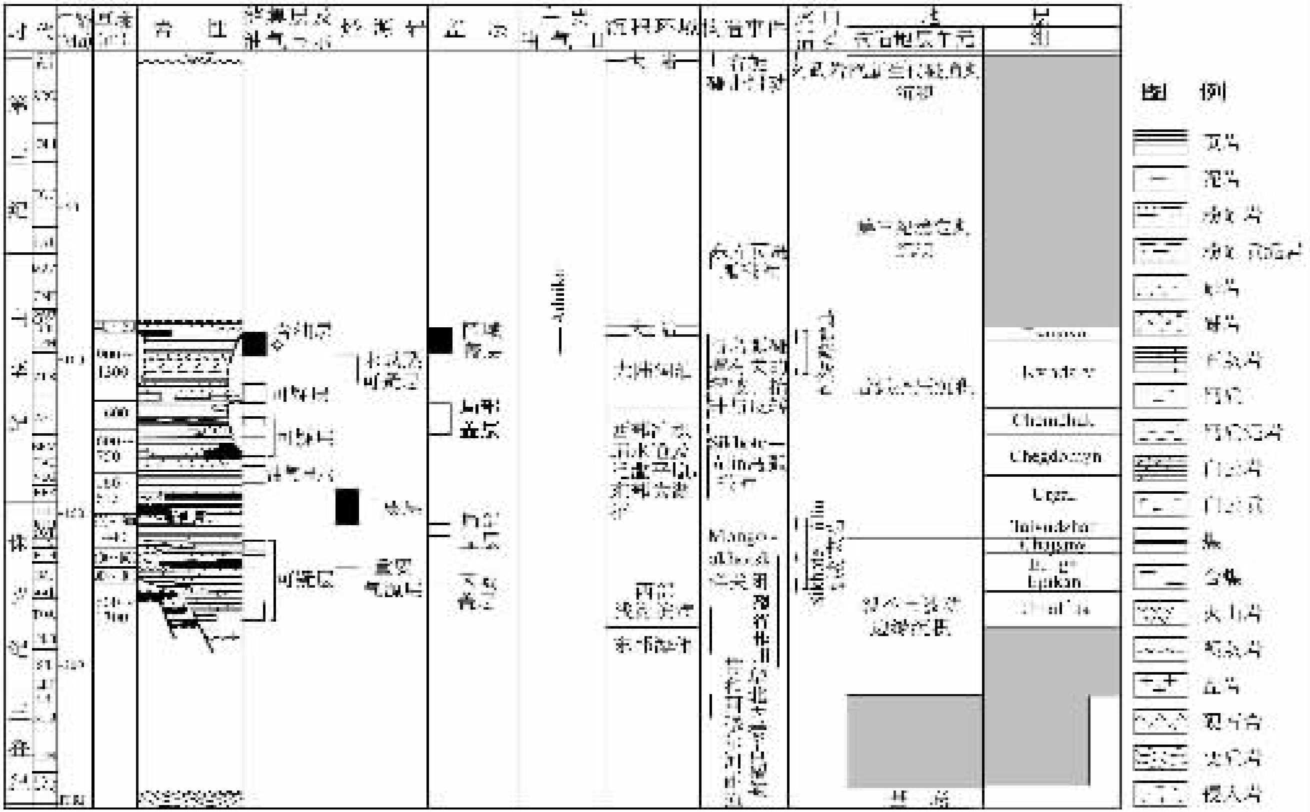


图 1—5—2　**上布列亚盆地区域性横剖面图**（**引自** Marat Modelevsky，1995）

表 1—5—1　上布列亚盆地综合地层（引自 Marat Modelevsky 等，1995）



1. 烃源岩

在上布列亚盆地，通过对沥青和煤的地球化学研究及其岩石物理性质的研究，识别出3套烃源岩。

（1）中侏罗统 Umal'ta 组上段和 Epikan 组的海相泥岩和泥质粉砂岩，主要含腐泥型有机质。粉砂岩中总有机碳含量（*TOC*）平均为0.48%，局部可达1.2%；Epikan 组中氯仿沥青“A”含量可达0.08%，而在 Umal'ta 组上段中通常小于0.02%。该层序下部成熟度指数为 MK_5（R_o=1.61%～1.75%），表明目前岩石为过成熟。尽管尚未发现来源于该套烃源岩的油气，但该套烃源岩可能有过生烃作用。

（2）上侏罗统至下白垩统 Talyndzhan 组和 Urgal 组由粉砂岩、粘土岩、泥岩和煤组成，其有机碳含量（*TOC*）最高可达18%。沥青系数是典型的类似于原生的原地沥青，尽管可能混有准原地沥青，但轻组分损失很少。沥青组分表明曾发生过大规模液态烃生成。该段的成熟度指数为 MK_1～MK_2（R_o=0.5%～0.87%），表明接近于成熟或已成熟生油。

（3）上白垩统 Kyndaly 组下段的粘土岩、泥岩和粉砂岩，为阿尔必阶，沉积于湖—沼环境。干酪根为混合型，有机碳含量（*TOC*）中等，粘土中为0.6%，粉砂岩中为0.58%。该组整体上并不成熟，其成熟度系数为 PK（R_o=0.37%～0.48%），局部可达 MK_1（R_o=0.5%～0.6%），沥青系数增高（8%～11%），说明沥青组分已开始生成。

钻井资料表明3000 m深处地层温度即达100℃，将永冻带考虑进去，说明地温梯度超过4.0℃/100m，接近于松辽盆地中部和东部的地温梯度（4.2℃/100m）。这些资料加上与各期火山活动有关的高热流资料，表明生油窗的埋深较浅（1 500m），接近于松辽盆地生油窗的埋深（1 100m）。

2. 储集层

到目前为止，该盆地仅有一套已证实的储集层，即上白垩统。西诺曼阶 Kyndaly 组由沉积于内陆湖泊的砂岩和粉砂岩组成，岩石颗粒的分选很好，磨圆也很好，高度钙质化，含一些重要的结晶玻屑凝灰岩和砂质凝灰岩夹层。其孔隙度可达36%以上，渗透率平均为 $13\times10^{-3}\mu m^2$。此外，根据盆地的沉积构造演化，侏罗系 Umal'ta 组、El'ga 组和 Chagany 组以及下白垩统 Urgal 组、Chegdomyn 组和 Chemchuk 组的碎屑岩也可能为储集层。

3. 盖层

目前在该盆地只识别出一个盖层单元，但中生界中存在可能的盖层。已确认的盖层为阿尔必阶—西诺曼阶（Kyndaly 组），岩性为泥岩夹粘土层，该组上部为 Adnikan 天然气发现提供了局部盖层，下部为区域性盖层。

此外，下列各组中发育有潜在盖层：①阿连阶（Aalenian）（Umal'ta 组上段）：粉砂岩和粘土，潜在的准区域性盖层；②启莫里阶（Changany 组）：粘土，潜在局部盖层；③Barremian 阶（Chegdomyn 组）：粘土质粉砂岩，潜在准区域性盖层；④阿普第阶（Aptian）（Chemchuk 组）：粘土质粉砂岩，潜在局部盖层。

4. 油气生成与运移

目前还很难确定已发现的天然气究竟来源于哪一烃源岩，但通过成熟度分析可确定烃类生成大致的时间。

中侏罗统的海相烃源岩在盆地西部（包括西部、中央和 Kyndaly 坳陷）缺失，时代上相当的沉积物为薄层海相砂岩，并向西尖灭。在东部，该烃源岩地层厚度有4 500～6 000m，其成熟度指数为 MK_5（R_o=1.75%），表明目前正处于生气窗，对于生油而言已过

成熟。估计生烃始于晚白垩世早期，且至今可能仍在生成少量气。

上覆上侏罗统至下白垩统烃源岩在全盆地均有发育，且其成熟度指数至少为 MK_1～MK_2（R_o＝0.5％～0.87％），表明这些烃源岩已接近或已成熟生油。当地的一些地质学家认为在 Adnikan 发现的天然气来自于上白垩统 Kyndaly 组的页岩，但此套页岩尚未成熟（R_o＝0.5％），也看不出它能生气。一种可能的解释是这些气为生物成因，这与埋藏最浅的储集层的埋藏深度相吻合，但埋藏更深的储集层可能不在细菌活动的范围之内。另一种可能性为中侏罗统烃源岩生成的气在晚白垩世变形期间或晚上新世至近代的大地构造活动期间沿断层运移上来。

砂岩中沥青含量增加，尤其是在 Talyndzhan 组和 Urgal 组中，而沥青的组分表明曾发生过石油侧向运移（氯仿含量大于苯乙醇含量，沥青中含焦油、沥青质及外来元素）。钻井表明侧向运移的最大距离为 20km。

可能性是多样的，但在未获得更多气和烃源岩的地球化学资料之前尚难定论。

5. 构造

上布列亚盆地的构造与大地构造活动紧密相关，主要形成于以下几个阶段：

（1）早侏罗至晚侏罗世的拉张期：阿穆利亚东缘的拉张作用与裂陷作用导致太平洋西岸发育被动边缘，于是形成边缘凹陷及裂谷系扩张，形成的主要构造包括正断层、箕状断陷、地堑和断块。

（2）白垩纪挤压期：随着 Sikhote—Alin 岛弧不断向阿穆尔岸线的靠近，挤压应力不断增长，于晚白垩世达到最大，并发生碰撞。主要构造机制包括褶皱作用、沿断面逆向运动和左旋走滑。形成的主要构造包括在盆地东部的北东向背斜、西部的宽隆起及断层反转。

（3）上新世至近代的挤压期：走滑引起局部变形，在盆地东部最强，主要形变为右行走滑，形成的主要构造为局部褶皱、隆起和反转构造。

6. 含油气组合

到目前为止在上布列亚盆地只发现了一个气田，因此证实的含油气组合只有一个，即 Kyndaly 含油气组合，这是一个构造—地层气藏。目前发现于该盆地的惟一的气田——Ardalin 气田包含了该盆地所有的探明可采储量。该气藏由上 Kyndaly 段的砂岩和粉砂岩组成，同组的页岩为局部盖层，圈闭由一背斜和砂体尖灭构成（图 1—5—3）。

7. 含油气系统

尽管目前尚无足够的烃源岩和天然气地球化学资料建立起 Adnikan 发现中烃类与烃源岩间满意的指纹关系，但当地的地质学家已识别出 3 个潜在的含油气系统，即 Epikan—Chagany、Talyndzhan—Chemchuk 和 Kyndaly 含油气系统（图 1—5—4）。

Epikan—Chagany 含油气系统潜在的烃源岩为 Umal′ta 组和 Epikan 组，来源于该烃源岩的烃类充填 Umal′ta 组、El′ga 组和 Chagany 组的储集层，在 Chagany 组中发育有局部盖层。

Talyndzhan—Chemchuk 含油气系统的烃源岩层为 Talyndzhan 组和 Urgal 组，潜在储集层发育于 Urgal 组、Chegdomyn 和 Chemchuk 组，在 Chegdomyn 和 Chemchuk 组中还发育有局部盖层和准区域性盖层，在 Urgal 组中发现了油气显示。

Kyndaly 潜在含油气系统的储集层、局部盖层和潜在烃源岩都发育于 Kyndaly 组中，据当地的地质学家的研究，该系统有一“上部生气窗”自新第三纪开始生气。

但是根据上面生烃与运移一节的讨论，Adnikan 气田 Kyndaly 组中的天然气既可能是浅

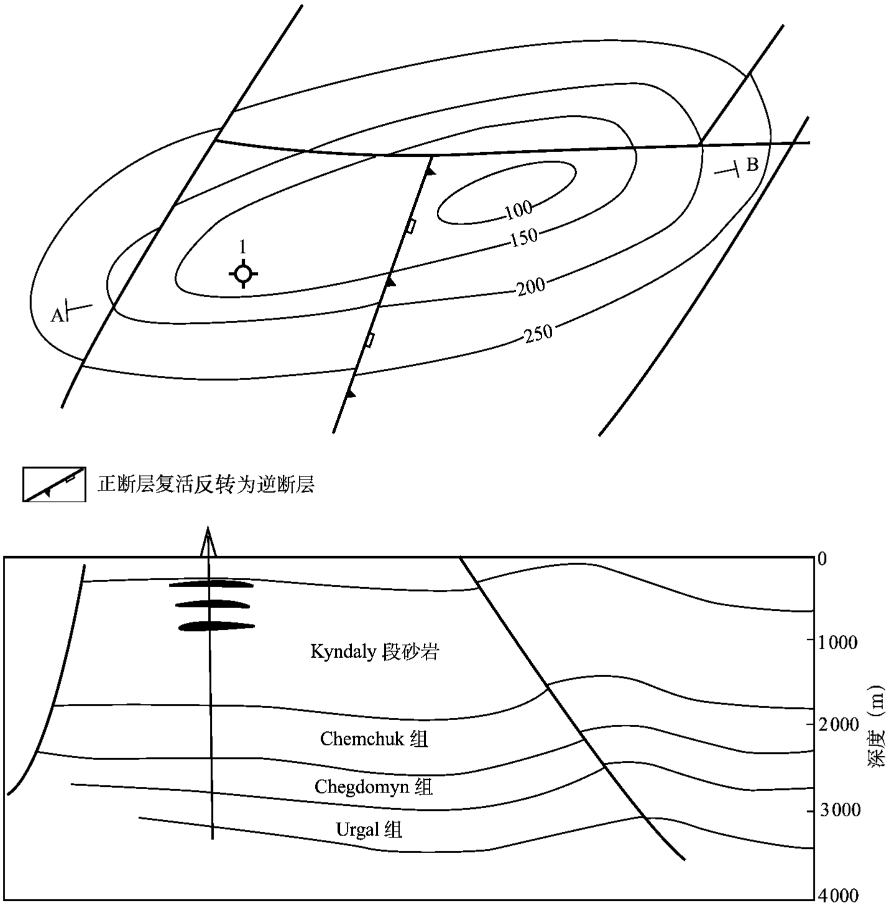


图 1—5—3　Ardalin 发现的构造图及剖面图（引自 Marat Modelevsky，1995）

埋的 Kyndaly 组生成的生物成因气，也可能是深部处于生气窗的中侏罗统烃源岩生成的气。上侏罗统—下白垩统 Urgal 组中发现的油气显示可能来源于深部中侏罗统烃源岩或与储集层同时代的已成熟烃源岩。这表明该盆地内仅有一个活跃的含油气系统：烃源岩发育于中侏罗统 Umal'ta 组和 Epikan 组（这些烃源岩生气）及上侏罗统—下白垩统 Talyndzhan 组和 Urgal 组（这些烃源岩生油），其所生成的石油经过短距离的侧向运移后进入断层再垂向运移至上覆白垩系砂岩中。这进一步说明在晚白垩世的构造变形及后来晚上新世到近代的反转和复活中有相当一部分烃类已逸失。

8. 油气储量及丰度

到目前为止上布列亚盆地只发现一个气田，根据 1994 年底的统计，其最终可采储量为 $140\times10^{8}ft^{3}$，其含油气丰度如表 1—5—2 所示。

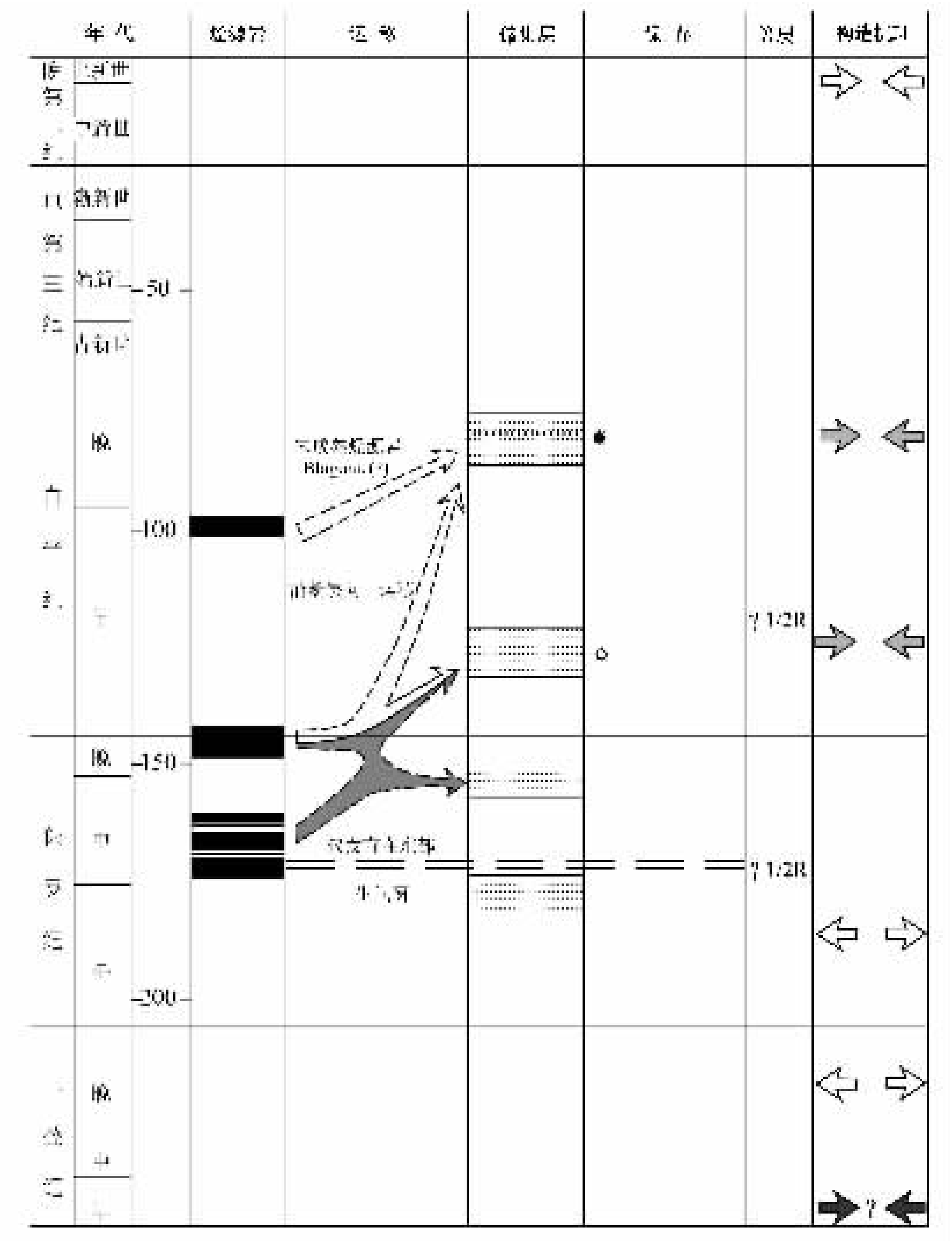


图 1—5—4　**上布列亚含油气系统简图（引自** Marat Modelevsky，1995）

表 1—5—2　**上布列亚盆地油气丰度**（1994）

类　型	油和凝析油	气	总　量
丰度	0	$1.1\times10^{6}ft^{3}/km^{2}$	190bbl（油当量）/km^{2}

9. **大油气田和典型油气藏（田）**

目前在上布列亚盆地仅发现了一个气田，勘探程度还很低。其储集层由 Kyndaly **组上段的砂岩和粉砂岩组成，同组的页岩为局部盖层，圈闭由一背斜和砂体尖灭构成**（图 1－5－3），Adnikan **气田的气可能来源于浅层** Kyndaly **组的生物成因气，也可能为深部成熟烃源岩生成的气**（图 1－5－3）。

10. **勘探开发历程及现状**

上布列亚盆地到目前为止勘探程度还很低，仅发现了一个气田，探明可采储量为 $140\times10^8ft^3$**，还未投入开采。**

五、小　结

（1）**该盆地的主要发育期为侏罗纪和白垩纪，但构造发育期为** 3 **期：早至晚侏罗世的拉张，白垩纪的挤压和上新世至近代的挤压。早侏罗世时，由于拉张作用，在上布列亚形成了一系列北东—南西向断陷。中侏罗世时该盆地位于太平洋的被动边缘之上，盆地西部充填了一套浅海到滨岸相碎屑沉积物，东部为粘土岩和碳酸盐岩。提通阶**（J_3）**时，**Sikhote—Alin **火山弧靠近大陆，**Sikhote—Alin **岛弧与阿穆利亚的最初碰撞导致了被动边缘序列变形，为碎屑物提供了又一物源，这些碎屑物自东注入盆地。阿尔必阶**（K_1）**到西诺曼阶**（K_2）**，该盆地发展成为一个大型内陆湖泊，沉积了一套细粒碎屑岩、碳酸盐岩和火山碎屑岩。晚白垩世发生了最终的碰撞并导致盆地回返，第三纪时发生进一步变形，晚上新世至近代发生右行走滑。**

（2）**该盆地发育** 3 **套烃源岩：①中侏罗统** Umal′ta **组和** Epikan **组的粘土和泥岩，为成熟至过成熟烃源岩；②上侏罗统至下白垩统** Talyndzndzhan **组和** Urgal **组的泥岩、粘土和煤，接近成熟到成熟；③下白垩统阿尔必阶** Kyndaly **组的烃源岩，不成熟。**

（3）**目前只发现一套储集层，即上白垩统西诺曼阶** Kyndaly **的砂岩和粉砂岩。但根据盆地的沉积构造演化，侏罗系** Umal′ta **组、**El′ga **组和** Chagany **组，下白垩统** Urgal **组、**Chegdomyn **组和** Chemchuk **组的碎屑岩也可能为储集层。**

（4）Kyndaly **组（阿尔必阶至西诺曼阶）的泥岩为惟一一套已证实的盖层。**

（5）**目前只发现了一个含油气组合——**Kyndaly **构造—地层气藏。**

（6）**推测该盆地有** 3 **个含油气系统：中侏罗统的** Epikan—Chagany **含油气系统、上侏罗统至下白垩统的** Talyndzhan—Chemchuk **含油气系统及白垩系的** Kyndaly **含油气系统。该盆地也许只有一个活跃的含油气系统。中侏罗统和上侏罗世—下白垩统的烃源岩生烃，烃类沿断层垂向运移至白垩系砂岩中，这样可能在后来的构造变形中逸失大量的油气；**Adnikan **气田的气也可能来源于浅层** Kyndaly **组的生物成因气。**

（7）**现探明可采储量为** $140\times10^8ft^3$**，尚未投入开发。**

参 考 文 献

Arkhipov A Ya，Burlin Yu K，*et al*. 1970. Sravnitel′naya kharakteristikaneftegazonosnykh basseynov Dal′nego Vostoka I Severo－Vostoka SSSR（Comparative characteristics of petroliferous basins of the Sovier Far East and North－East）. Vestnik MGU，5

Butenko B P，Varnavskiy V G，Zavadskiy V A. 1975. O poiskakh nefti I gaza na yuge materikovoy chasti Dal′nego Vostoka（Exploration for oil and gas in the southern contineantal part of the Far East）. in：Osadochnyye formatsii neftegazonosnykh oblastey Dal′nego

Vostoka (Sedimentary formations of the Far East petroliferous regions). DVNTs AN SSSR, Vladivostok

Cheng Zueru. 1982. Positons of plate tectonics in the Songliao Basin and characteristics of occurrence of hydrocarbons. Petroleum Exploration and Development, 9 (6): 39—48

Kheraskov N P, Davydova T N, Krasheninnikov G F, *et al*. 1939. Geologiya Bureinskogo basseyna (Geology of Bureya Basin), 173. Geologicheskiy Komitet. Moscow—Leningrad

Krapivtseva V V. 1974. Izmenneniye organicheskogo veshchestva yursko—melovykh otlozheniy Bureinskogo progiba v protsesse litogeneza (Changes of organic matter from ajurassic—Cretaceous deposits of Bureya Trough during the lithogenesis). in: Organicheskoye veshchestvo v sovremennykh I iskopayemykh osadkakh. IV Vsesoyuznyy Seminar (Organic matter in recent and ancient sediments: Ivth USSR Seminar), 117—118. MGU. Moscow

Krapivtseva V V. 1975. Izmeneniye stadiy uglefikatsii organicheskogo veshchestva yursko—melovykh otlozheniy Bureinskogo progiba (Carbonification stages of organic matter within Jurassic—Cretaceous deposite os Bureya Trough). in: Osadochnyye formatsii neftegazonosnykh oblastey Dal'nego Vostoka (Sedimentary formations of the Far East petrolifeous regions), 139—144. DVNTs AN SSSR, Vladivostok

Krapivtseva V V. 1979. Uglenosnyye formatsii Bureinskogo Basseyna (Coaliferous formations in the Bureya Basin). Nauka, Moscow

Lomtev Yu A, *et al*. 1969. O kharaktere perekhoda ot terrigennykh morskikh obrazovaniy k uglenosnym v Verkhne—Bureinskoy vpadine I o vozraste Chaganyyskoy svity) Nature of the transition from marin clastics to coaliferous deposits with upper Bureya Depression and age of Chagany Formation). IV Nauchnaya konferentsiya geologicheskogo fakulteta. MGU, Moscow

Shcherbakov, V S, Petukhov A V. 1970. Kollektorskiye svoystva vulkano—klasticheskikh porod Verkhne—Bureinskoy I Zeysko—Bureinskoy vpadin (Dal'niy Vostok) (Reservoir properties of volcanoclastics in Upper bureya and Zeya—Bureya and Zeya—Bureya depressions, Far East). Vestnik MGU, Seriya IV, 3, 92—95

第六节　东萨哈林—鄂霍茨克盆地

东萨哈林—鄂霍茨克（East Sakhalin—Okhotsk）**盆地位于俄罗斯远东地区萨哈林岛东北部及其附近海域**（图1—6—1）。**盆地面积** $21.6\times10^4km^2$，**其中岛屿面积** $1.9\times10^4km^2$，**大陆架面积** $6.1\times10^4km^2$，**鄂霍茨克海深水区面积** $13.6\times10^4km^2$。

萨哈林岛又称库页岛，是俄罗斯最大的东南沿海岛屿，西面为鞑靼海峡，与亚洲大陆相隔，北面和东面是鄂霍茨克海，南面是日本海，与日本的北海道隔海相望。

鄂霍茨克海包括大陆架、大陆斜坡和深海盆地三部分。大陆架又进一步细分为近勘察加区、北鄂霍茨克区、近萨哈林区，宽度从 20km **到** 220km，**水深在** 770m **以内。北部大陆架是重要的油气远景区。**

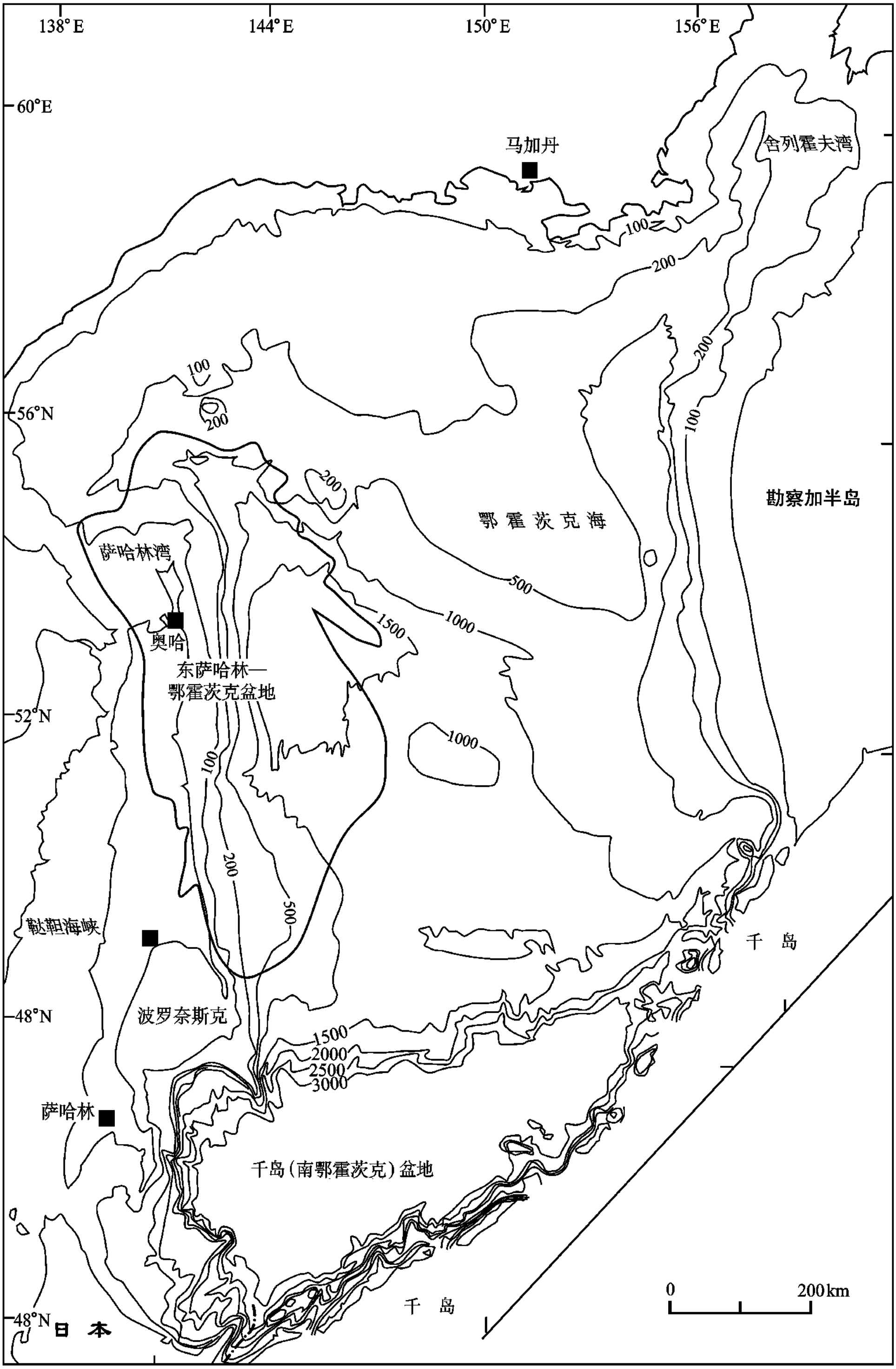


图 1—6—1 东萨哈林—鄂霍茨克盆地位置图（引自 Marat Modelevsky 等，1995）

一、区域地质

东萨哈林—鄂霍茨克盆地的演化与亚洲板块东部边缘的板块构造史有着密切的关系。

1. 断裂特征

Worrall 等（1996 年）指出东萨哈林—鄂霍茨克盆地是 2 个区域性剪切系相互作用的结果，盆地西侧是南北向延伸的北海道—萨哈林右旋剪切断裂系，盆地北侧是东西向延伸的左旋剪切系，该线性构造经历了长期的转换挤压和转换拉伸作用（图 1—6—2 至图 1—6—5）。

1）北海道—萨哈林右旋断裂系（剪切带）

南起北海道，横贯萨哈林岛，南北向延伸，断裂面近乎直立。可分为 3 个主要的断裂系：西边的西萨哈林断裂带、东边的东萨哈林—Abashiri 断裂带和右旋断裂系。

北海道—萨哈林剪切带伴生有一系列挤压和拉张性次级构造，包括北东向延伸的正断层、北西向延伸的雁行褶皱和逆掩推覆体。它们一般有稳定的走向，其走向和形成时间与右旋剪切带有很强的对比性。

正断层主要形成于始新世到早中新世，具转换拉张剪切性质，其分布不像压性构造一样普遍。走向为稳定的北东向，通常与右旋断层相连。正断层与次级盆地的下沉有密切关系。

雁行褶皱和逆掩推覆体大部分较年轻，形成于晚中新世到上新世的转换挤压作用，沿北西向延伸，靠近走向滑移断层，大部分褶皱在核部发育小型隐蔽逆掩断层，断层走向与褶皱轴向平行。

从伴生构造来看，北海道—萨哈林剪切带在始新世到早中新世以转换拉张为主，在晚中新世之后则以转换挤压为主。

2）北西鄂霍茨克张性断裂带

在鄂霍茨克海西北部是一系列北东方向伸展的正断层。地下资料的区域对比发现，断层主要活动于始新世—渐新世，在 Liziansky 盆地局部延续到早中新世。

2. 盆地演化

东萨哈林—鄂霍茨克盆地的演化与东亚边缘的板块构造运动密切相关，该区的新生代历史整体上受北海道—萨哈林大规模的剪切作用控制。目前，总体的应力场机制是一种右旋压扭作用，而盆地的演化史则受压扭作用和扭张剪切的相互交替所控制。

从东萨哈林—鄂霍茨克盆地的 5 个主要构造—地层单元说明该区的地质演化经历了 5 个构造旋回。由于油气系统主要局限于新近系，因此前第三系均可看成是盆地的基底。

1）基底

盆地基底为中生代到古新世增生复合体。基底的地震特征是基底 P 波速度明显高于沉积盖层速度，为 4.0～6.0km/s，而沉积盖层的速度仅为 2.0～3.5km/s，两者之间是一个很大的区域不整合。

盆地基底是由撕裂的构造逆掩岩片构成的增生复合体，是中生代岛弧和微陆块与欧亚大陆在早白垩世时期碰撞的产物，鄂霍茨克海底本身就属于这一类地块。

基底以 Val'zi 和 Nabil 群的变质岩为代表，其时代为晚古生代至早中生代，但是侏罗纪至白垩纪具有早期大量的滑塌重力流沉积，强烈的褶皱、逆冲断层以及变质绿片岩的级别阻碍了详细确定这些岩石的时代。

基底岩性有火成岩、火山碎屑岩、沉积岩以及由这些岩石衍变而来的变质岩等。基底火成岩的 K—Ar 年龄为 45—205Ma。

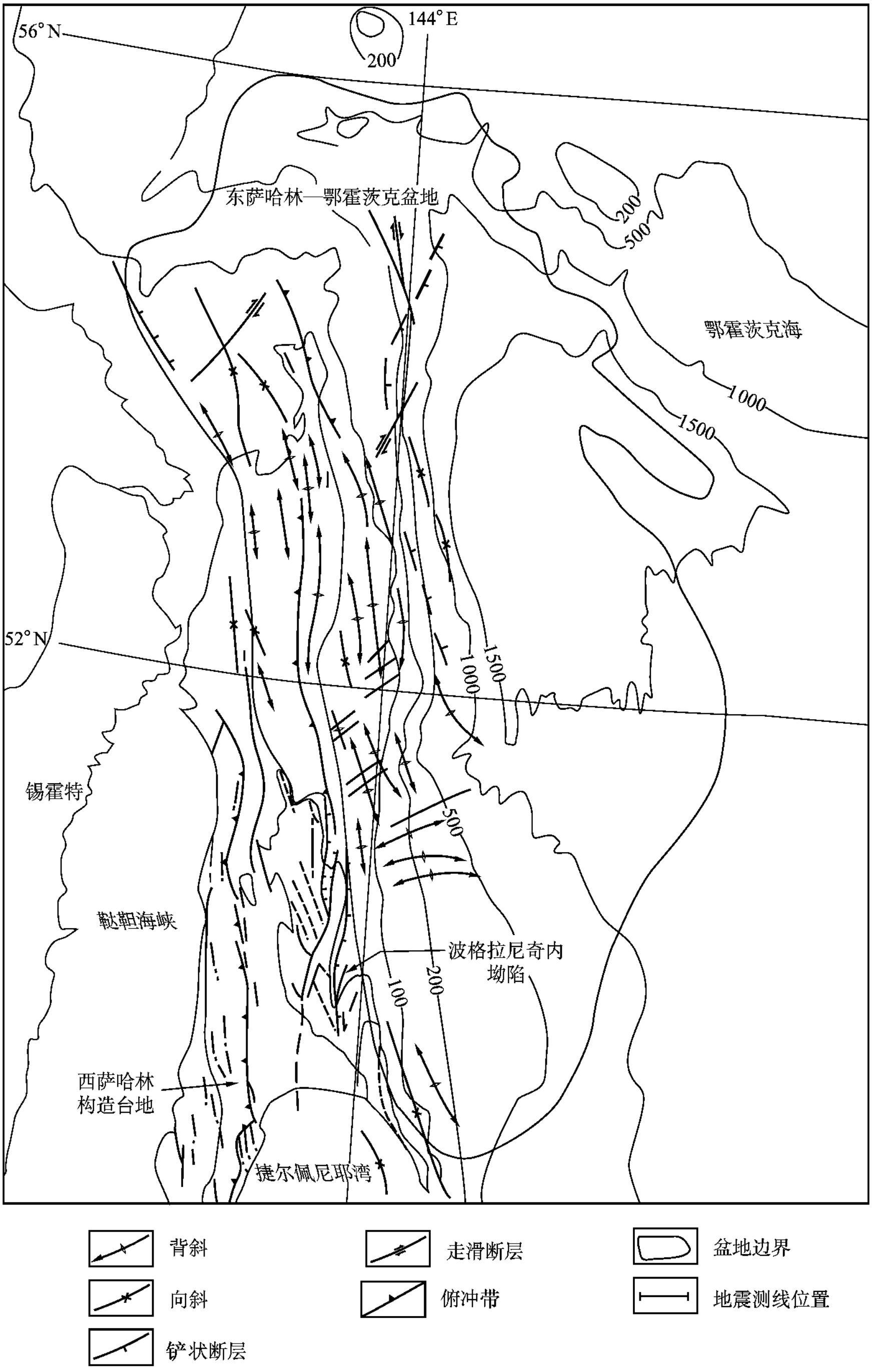


图 1—6—2　**东萨哈林—鄂霍茨克盆地构造纲要图**（**引自** Marat Modelevsky **等**，1995）

2）**岛弧复合体：晚白垩世至古新世**（97—65*Ma*）

萨哈林西部和东部地区的晚白垩世岩性组合截然不同，这说明两部分原先并不在一起。萨哈林东部地区为上白垩统 Rymnik **群，形成于岛弧环境，在岩性上以安山岩到碱性玄武岩**

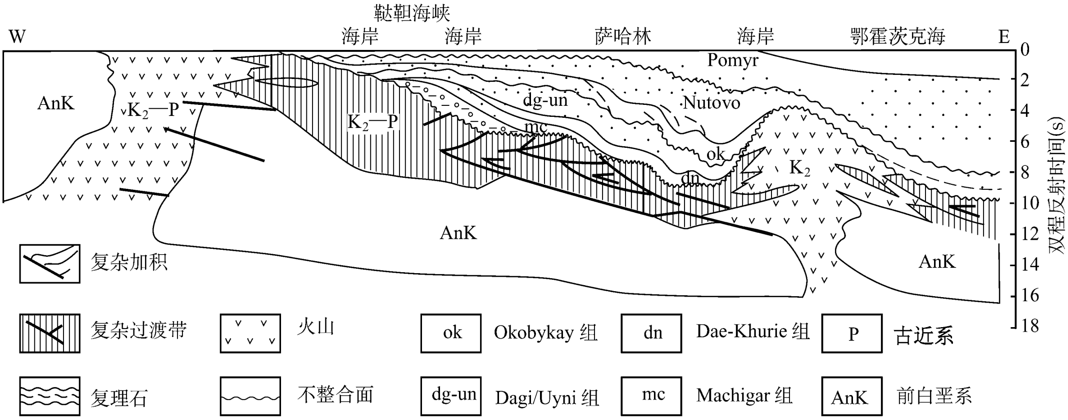


图 1—6—3　**东萨哈林—鄂霍茨克盆地区域横剖面示意图**（**引自** Marat Modelevsky **等**，1995）

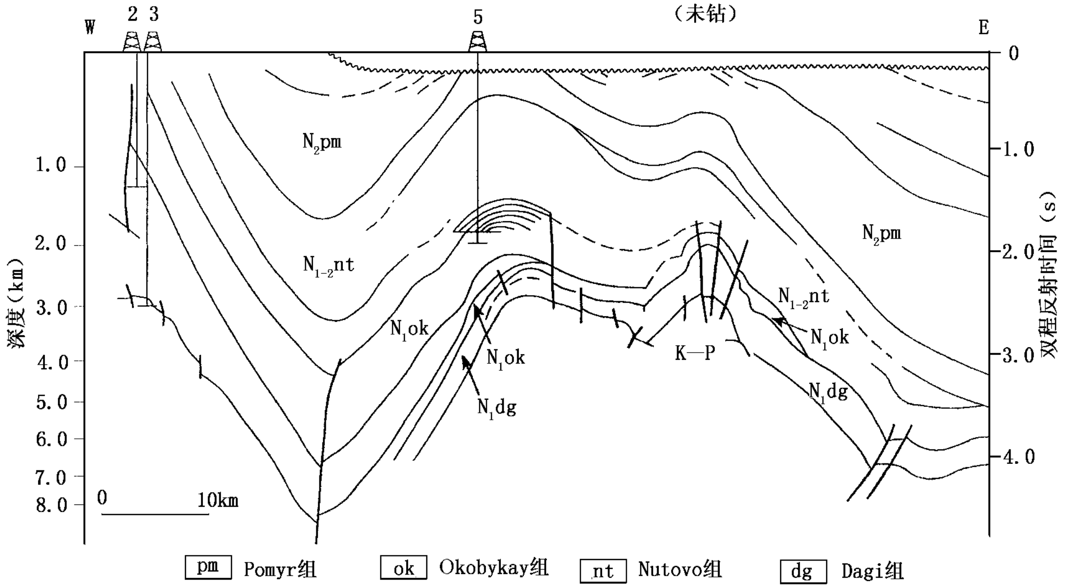


图 1—6—4　**萨哈林东北大陆架东西向地震测线**（**引自** Marat Modelevsky **等**，1995）

为主。西萨哈林地区发育含少量火山岩的巨厚复理石堆积体（6 500 m），**可解释为是** Sikhote—Alin **火山岩带的前弧序列**（Zonenshain，1991）。**东萨哈林的上白垩统** Rymnik **群主要为岛弧环境，火山岩由安山岩至碱性玄武岩组成，并伴有燧石、放射虫岩及复理石；其变质程度明显小于下伏的** Nabil **群**。

Zonenshain **等**（1991）**认为白垩纪末的主要碰撞事件仅对东萨哈林产生了影响，而对西萨哈林无影响，这一事件是由鄂霍茨克板块随着欧亚板块的向西碰撞所造成；此时，在西萨哈林和锡霍特山脉地区火山弧则不活动**。

3）**早期裂谷阶段：古新世至早渐新世**（65—30*Ma*）

发生局部扩张，形成长形地堑，陆相煤系地层充填于地堑内，紧接着是速度大于沉积物

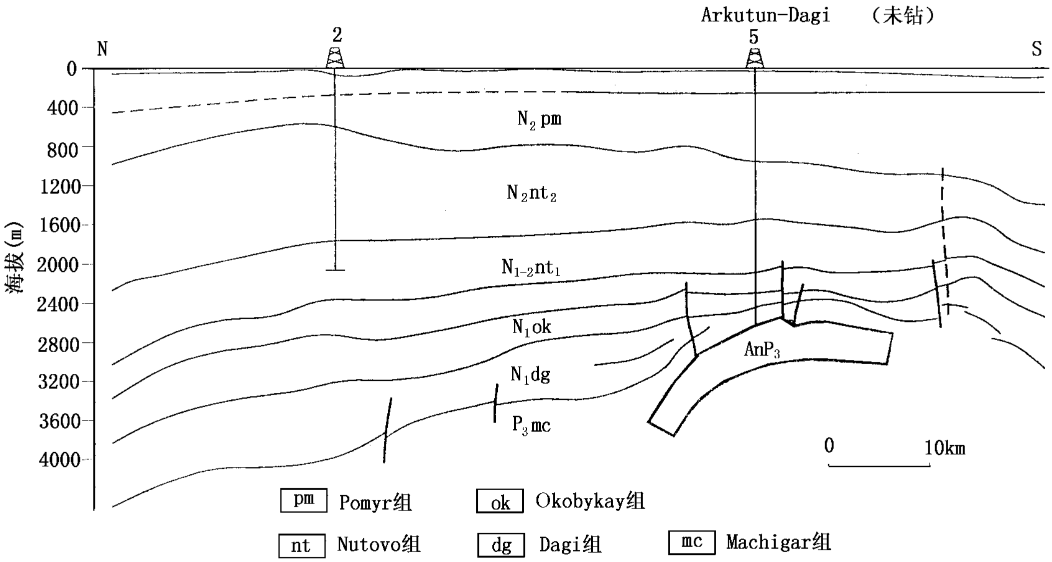


图 1—6—5 萨哈林东北大陆架南北向地震测线（引自 Marat Modelevsky 等，1995）

堆积速度的快速下沉。

古新世沉积作用主要发生于山间地堑内，以陆相碎屑岩为主，夹煤系地层。在古新世到始新世时期沉没，说明发生了区域性的海进，渐新世沉积物以海相为主，包括成为盆地主要烃源岩的 Machigar 组。

4）转换拉张阶段：晚渐新世至早上新世（30—4*Ma*）

此时盆地处于拉张、转换拉张和重力下沉阶段，也是盆地沉积物的主要形成阶段。

转换拉张是中新世时期欧亚东部边缘大部分地区的构造应力型式。在萨哈林地区的主要事件是早—中中新世日本海的开启，伴随着日本海新洋壳的扩展，形成一条长约 400 km 的北海道—萨哈林剪切带。此时，一个长 1 100km、宽 250km 的穆尔三角洲向北东张开，三角洲沉积物穿过活动剪切带，进入鄂霍茨克海。在沉积初期，处于欠补偿阶段，沉积了 Dae—Khurie 组海相页岩，在此之后的早中新世到早上新世，盆地经历了多次大规模的海进海退旋回，从 Uyni 组的海相沉积、Dagi 组三角洲沉积、Okobykay 组海相沉积，一直到 Nutovo 组海相和滨岸相沉积。

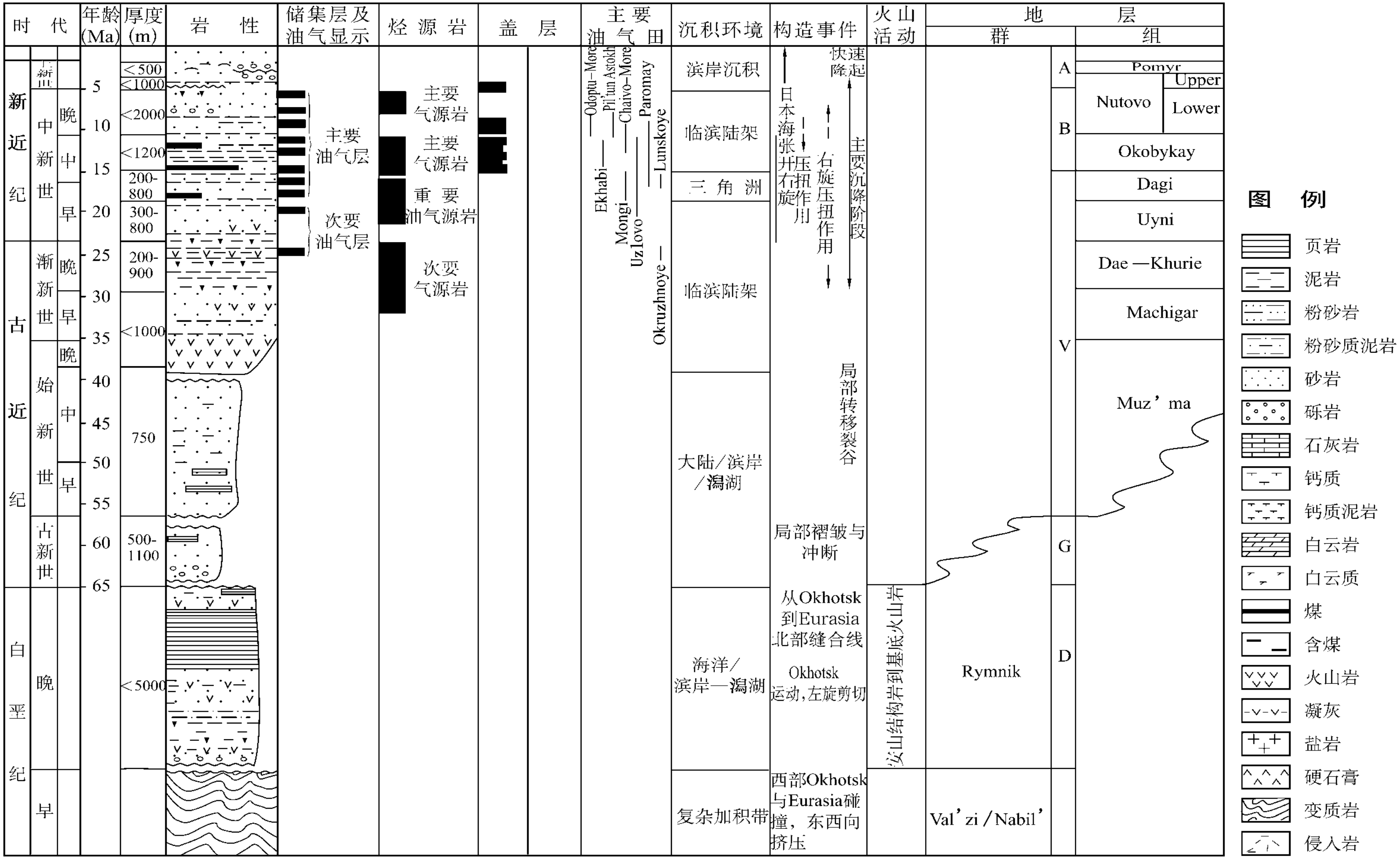
5）反转阶段：晚上新世至今（4—0*Ma*）——强烈褶皱作用和造山运动

晚上新世的一个典型地质特征是全区普遍抬升，形成了目前萨哈林地区的地形地貌特征。在这一时期，在萨哈林的大部分地区没有沉积，造山带上升速度为 400m/Ma。同时，在陆上和海上形成了许多洼地。隆起边缘逆冲到沉积层之上。挤压作用又导致了地层沿 Okobykay 泥岩的滑脱作用。南北向背斜首先被东西向断层切割，最后被右旋走向滑移断层切断，并发生位移。

3. 地层简介

穆尔河三角洲是东萨哈林—鄂霍茨克盆地的沉积主体，是惟一的物源通道。该河沿目前的中俄边境展布，其三角洲东西向延伸 1 100 km，南北宽 250 km。从陆上到海上，储集层由西向东越来越年轻，这是三角洲加积作用的结果（表 1—6—1）。

表 1—6—1　东萨哈林—鄂霍茨克盆地综合地层（据 Marat Modelevsky 等，1995）



根据岩心及油矿地球物理资料的分析，可划分出3种基本岩相类型：①滨海相，主要为沉积在盆地西坡、靠近陆源区的砂质地层；②海相砂泥质沉积，主要发育在外陆棚斜坡带，其厚度在3种岩相中最大；③深水泥质沉积，发育在次深海区，向外海方向其厚度迅速变小。

（1）始新统 Muźma 组：主要为陆相、滨岸和□湖相砂岩，底部含砾，中部夹有钙质砂岩，顶部具有火山岩。

（2）下渐新统 Machigar 组：下部为陆棚浅海相或临滨相粉砂岩，上部为砂岩夹火山碎屑岩。

（3）上渐新统 Dae—Khurie 组（部分下中新统）：与上下地层呈整合接触，深海相硅质页岩，含少量硅质粉砂岩，平均厚 900 m。是萨哈林地区的重要生油岩，当无裂缝发育时，可作为半区域性盖层；当裂缝发育时，可作为优质储集层。

（4）下中新统 Uyni 组：与上下地层呈渐变状态。深海相泥岩夹少量砂质粉砂岩，平均厚 600m，最大可达 800m。

（5）中中新统 Dagi 组：与上下地层呈渐变状态。主要岩性有砂岩、泥岩、砾岩和煤。砂岩主要沉积于滨海相，泥岩主要沉积于三角洲—浅海相。平均厚 800m，最大可达1 400 m。含有孔虫和软体动物化石。

（6）上新统 Okobykay 组：与上下地层渐变接触。以泥质地层为特征，含少量砂质粉砂岩，最大厚度可达 1 200m。为深水陆棚和深海相环境沉积。

（7）上新统 Nutovo 组：与 Pomyr 组地层呈不整合接触关系。分上、下两部分，Nutovo 组上段的沉积环境和岩性类似于 Pomyr 组，下段沉积于陆棚环境，主要岩性有砂岩和泥岩。地层厚度大，平均为 2 600m，最大可达 3 000m。含有孔虫、软体动物化石和孢粉组合。

（8）上新统 Pomyr 组：与下伏地层呈整合接触，厚度小于 500m。岩性为滨海相的砂岩和砾质砂岩。

二、大地热流

东萨哈林—鄂霍茨克盆地的地温梯度由陆上向海上增加，陆上为 2.98～3.88℃/100m 之间，而海上最高可达 4.5℃/100m。热流较低，一般为 $60mW/m^2$，但海上的 Deryugin Trough 较高，可达 $75mW/m^2$。

Я. Б. Смирнов 对 13 条垂直于阿留群岛、鄂霍茨克海和日本海区的地震测深剖面进行了计算，在相当于 1200℃等温面的深度处，划出了许多区域的和局部的热异常，认为沿海盆地的地温最高，陆上中生代和更老的构造区和深水海盆的地温最低。

三、火山活动

东萨哈林—鄂霍茨克盆地位于鄂霍茨克—楚科奇火山带。该火山带可能属非均质结构基底的大陆边缘构造类型，形成于中—晚白垩世的中阿尔布—西诺曼期，构成了盆地基底的主体。该带的火山岩剖面始于巨厚的玄武岩—安山岩层，火山活动的结束标志是广泛出现酸性火山岩（亚碱性流纹岩层），其中主要是凝灰熔岩岩层。这种酸性火山岩很可能曾与地壳中的再生岩浆有关。

在阿尔布—西诺曼期岩浆岩层形成时产生的构造要素特征是：鄂霍茨克—楚科奇火山带是由各种类型的构造火成岩环形结构形成的综合体，这些火成岩环形结构的空间位置受输导岩浆的线状断裂控制。

四、含油气性

1. 烃源岩

在东萨哈林—鄂霍茨克盆地，已发现了多套从渐新世到上新世的烃源岩层，其岩性包括泥岩、硅质泥岩和煤系地层。

Machigar—Dae—Khurie 组：上渐新统至下中新统深海相硅质泥岩，为北萨哈林地区的主要烃源岩，全区分布广泛，平均厚度在 1 500m 以上。总有机碳含量在 0.46%～1.21%之间，氯仿沥青“A”含量为 0.04%。该地层在萨哈林地区的成熟度较高，其有机质的镜质组反射率（R_o）在 0.75%～1.61%之间，大约 80%的地层单元已进入生气窗口。

Uyni—Dagi 组：中中新统煤系地层，是北萨哈林地区的重要烃源岩，主要沉积于滨海相和陆相含煤层系中，腐殖质有机质含量相对较高，但分布很不均匀，海陆过渡带的砂质—粉砂质沉积相的 *TOC* 约为 0.95%，而开阔海泥岩相的 *TOC* 为 1.50%。有机质以腐殖型为主。

2. 储集层

东萨哈林—鄂霍茨克盆地的主要储集层包括 Dagi 组、Okobykay 组和 Nutovo 组砂岩和粉砂岩。影响储集层性质的一个重要因素是它们的埋深，其次是 Okobykay 组底部以及古新统和下白垩统内泥岩与纯砂岩层之间近水平滑脱带的破裂作用。

埋深小于 1 000m 的储集层，岩石松散，压实不完全，孔隙度可达 30%～40%，渗透率为 $500\times10^{-3}\mu m^2$，泥岩和胶结物通常由蒙脱石组成。

埋深在 2 000～3 500m 的储集层，岩石被压实，并有轻微的沉积后蚀变现象。砂质粉砂岩储集层的孔隙度为 15%～30%，渗透率不小于 $100\times10^{-3}\mu m^2$，岩石稍有破裂。

埋深在 3 500～4 500m 的储集层，岩石被压实，有明显蚀变，蒙脱石胶结物被伊利石和高岭石所取代。孔隙度和渗透率均有所下降，孔隙度减至 10%～20%，渗透率为（1～100）$\times10^{-3}\mu m^2$，燧石和硅质页岩中常见裂缝。

埋深大于 4 500m 的储集层，岩石多有蚀变，且有很强的次生作用。储集层破裂很普遍，原生孔隙显得不那么重要。

总之，在东萨哈林—鄂霍茨克盆地，储集层物性普遍较好，它们储集了大量的油气（表 1—6—2）。

表 1—6—2　东萨哈林—鄂霍茨克盆地各储集层的储量

储　集　层	石油和凝析油（10^6bbl）	天然气（10^8ft^3）
渐新统（Dae—Khurie 组）	29.1	184
下中新统（Uyni 组）	0.7	200
中中新统（Dagi 组）	427.2	125 309
上中新统（Okobykay 组）	614.2	129 420
上新统（Nutovo 组）	1274.1	101 900
总量	2345.3	247 013

1）*Nutovo* 组储集层

Nutovo 组储集层多分布于热成熟度较低的海上部分，其储集性能由陆上向开阔海逐渐变差，直至完全尖灭。该储集层的孔隙度为 25%～30%，渗透率（10～1000）$\times10^{-3}\mu m^2$。产层厚 1～54m，平均 6m，占储集层总厚度的 20%～40%。

2）*Okobykay* 组

这套晚中新世地层是盆地陆上的主要储集层。其中，最有远景的是该组的下段，现在已找到了5～8个产层，厚度在10～150m之间，孔隙度10%～25%，平均14%～16%，渗透率从数十到数百毫达西不等。

3）*Dagi* 组

该中中新统储集层分布较广，现已确认了20多个砂质和粉砂质产层，其厚度在7～103m之间，储集层的孔隙度为25%～30%，渗透率从数十到数百毫达西。

3. 盖层

已确认的有4套盖层（表1－6－3），主要是中新统的Okobykay组区域或半区域性盖层。盖层主要由砂岩或粉砂岩夹层的泥岩组成，一般分选差，粉砂含量20%～40%，粘土有蒙脱石和伊利石，其中3 500m以内以蒙脱石为主，4 500m以下开始以伊利石为主。由于压裂作用，盖层封闭性随深度增加而下降，特别是在3 000～4 500m深度段，但当埋深超过此深度段时，盖层有效性又开始恢复。

表1－6－3　东萨哈林—鄂霍茨克盆地四套盖层的特征

地　　层	岩　　性	厚度（m）	性　　质
上Nutovo组（上新统）	泥岩，含20%～40%粉砂	10～80	半区域性
Okobykay组（上中新统）	粉砂质泥岩，夹20%～80%粉砂质泥岩	>200m	区域性
Dae—Khurie组（渐新统）	硅质泥岩	—	半区域性
下第三系至上白垩统	煤质泥岩	—	组内盖层

4. 油气生成与运移

石油生成潜力模拟研究表明（Koblov等，1982），盆地有2个生油高峰，烃源岩的埋深分别对应于1 800～3 400m和4 000～5 000m。有机质排出高峰期对应的深度段是1 700～3 400m和4 200～5 500m，前者与岩石压实和流体从孔隙介质中排出有关，后者与广泛的岩石破裂有关。

该盆地内油气运移距离不大，而且侧向运移和垂向运移几乎同时发生，因此像Pil′tun、Chaivo—More和Lun等海上大油气田均靠近深洼陷。区内存在异常高压带和火山活动，水动力机制较为复杂。在渐新统Dae—Khurie组和上中新统Okobykay组泥岩层有一挤压滑脱面，该面与区域压力场一起，提供了油气运移的通道，控制了油气以向东运移为主的特征。影响油气运移的主要因素包括：

（1）长期连续的裂谷后坳陷（晚渐新世至早上新世），已发现的烃源层都已进入生油窗口，个别地层，如Dagi组以下地层，已过高峰生油期。

（2）上新世地层反转和褶皱作用（坳陷后的挤压），以及与之同时发生的地壳上升与侵蚀，致使生油停顿，流体流动格局重新形成。

（3）不均衡下沉导致不同时期的烃源岩以及同一时间石油窗内有不同的干酪根类型。

5. 主要含油气组合

上新世Nutovo群、晚中新世Okobykay群和中中新世Dagi群是东萨哈林—鄂霍茨克盆地的3个主要含油气组合，早中新世Uyni组和晚渐新世Dae—Khurie组也是该盆地的含油气组合，但其重要性远不如前者。

这些主要含油气组合集中在北北西向延伸的狭长地带内，由于新生代沉积层向东进积，储集层年代由西向东逐渐年轻。Nutovo 群是盆地海上部分最重要的含油气区带，Okobykay 区带和 Dagi 区带则是陆上相对重要的含油气组合，Uyni 和 Dae—Khurie 含油气组合仅在陆上有发现。

1）含油气组合类型

（1）Nutovo 群含油气组合。包括 Nutovo 构造油气藏、Nutovo 构造—地层油气藏和 Nutovo 地层油气藏。已在 12 个油气田中发现了这类含油气组合，其中大部分在海上，其拥有的最终可采储量占盆地油的 52%、凝析油的 78%和天然气的 41%。储集层岩性是滨海相和少量三角洲相砂岩，盖层是互层状泥岩，圈闭以背斜为主，通常规模较大，有时伴有向东的储集层尖灭和泥岩尖灭，但也有个别与侧向储集层不连续有关的纯地层圈闭。

Nutovo 构造油气藏见于 10 个油气田或油气发现中，其中包括 Odoptu—More、Chaivo—More 和 Pil′tun—Astokh 等 3 个较大的油气田。该类构造油气藏的最终可采储量占全盆地石油的 33.7%、凝析油的 65.3%和天然气的 31.7%。油气规模从大到小均有发育，Chaivo—More 是最大的天然气田，其天然气可采储量在 $4\times10^{12}\,ft^3$ 以上，储集层是复合的，共由 15 个单元组成，圈闭为背斜或倾斜断块，后者往往与断层闭合有关。由陆向海，倾斜断块的重要性逐渐降低。

Nutovo 地层油气藏迄今为止仅在 2 个海上发现中见到（Pil′tun—Astokh 和 Arkutun—Dagi），其可采储量分别为盆地油的 1.1%、凝析油的 6.8%和气的 3.8%。然而，由于页岩圈闭和砂体的尖灭在该区广泛发育，今后增加的大量储量可能与此类油气藏有关，这取决于高分辨率地震方法对新的勘探目标的识别。

Nutovo 构造—地层油气藏见于 4 个油气田中，其中 Pil′tun—Astokh 油气田是最大的海上油气田，其石油可采储量为 3.65×10^8 bbl，天然气可采储量为 $11\ 420\times10^8\,ft^3$，油田由 3 个顶部为封闭性断层切割的背斜组成。

（2）Okobykay 群含油气组合。它是盆地陆上部分最重要的含油气组合，36 个油气田中具有此类含油气组合，其油气最终可采储量占全盆地石油可采储量的 28.0%、凝析油的 2%和天然气的 7.9%。但这类含油气组合组成的油气田往往规模不大，在已发现的油气田中，只有 2 个油田的石油储量超过 1×10^8 bbl。其圈闭以构造为主，也见断层封闭型圈闭。盖层是直接覆盖于储集层之上的海相泥岩，侧向连续性较好。

Okobykay 构造油气藏已有 26 个油气田或油气发现，这些油气田或油气发现的油气最终可采储量占全盆地石油储量的 19.1%、天然气的 6.6%和凝析油的 1.8%。储集层呈叠覆组合，圈闭包括被转换断层改造的单斜褶皱、倾斜断块、岩性尖灭、逆冲断块。主要分布于北萨哈林地区东部，沿北海道—萨哈林断裂带分布。Ekhabi 油气田是最大的油田，其石油探明加控制可采储量达 1.20×10^8 bbl，天然气储量达 $730\times10^8\,ft^3$。

Okobykay 构造—地层油气藏已有 11 个油气田或油气发现。其石油储量占全盆地储量的 8.9%，天然气储量占全盆地的 1.3%，圈闭普遍较小，主要是背斜翼部的岩性尖灭地层型圈闭。

（3）Dagi 群含油气组合。Dagi 含油气组合是盆地内第二大含油气组合，仅次于 Nutovo 含油气组合。在这类含油气组合中，已取得 34 个油气田或油气发现，其最终可采储量占全盆地石油的 18.1%、天然气的 50.6%和凝析油的 19.9%；其中的 Lunskoye（Lun）气田是最大的独立气田。

储集层是中中新世滨海相砂质—粉砂质—泥质煤系地层，圈闭以构造为主，其展布与 Okobykay 组下段挤压滑脱面之下的低角度断层有密切关系。倾斜断块常以单斜为主。Okobykay 泥岩是这类油气藏的有效盖层。圈闭规模中等，个别较大。

Dagi 构造油气藏已有 26 个油气田或油气发现，其最终可采储量占全盆地石油的 21.1%、天然气的 7.3%、凝析油的 10.3%。大部分油气田较小，但其中的 Mongi、Mirzoyev 和 Volchinka 油田是陆上最大的 3 个油田。这类油气藏的圈闭较为特殊，其断块同时被 2 条断层切割，一个是沿背斜长轴展布的低角度断层，另一条是沿短轴分布的高角度断层。Dagi 储集层的界面几乎全被挤压滑脱面改造过，因此普遍发育断层封闭的油藏。

Dagi 构造—地层油气藏目前已见于 6 个油气田和发现中，占盆地最终可采储量油的 1.4%、凝析油的 90.6%和气的 43.3%。此类油气藏形成的 Lun 气田是盆地中最大的气田，该气田具 99 780×10^8ft^3 天然气储量及少量油和凝析油。

Dagi 构造—不整合油气藏在 2 个适中的油田中具有此类油气藏，它们是 Katayli 和 Katangli—Uyglekuty 油田，最终可采储量占盆地油的 4.4%及少量的气。圈闭为北西向倾斜的背斜断块，其构造顶部储集层遭受不整合的削截。

（4）Uyni 构造含油气组合。此类油气藏仅在 3 个小油气田或油气发现中见到，其储量迄今占盆地可采储量的比例很小。其储集层主要由砂岩组成，盖层为海相燧石泥岩。埋藏深度太大和上覆沉积层构造的复杂性阻碍该含油气组合的有效评价。

（5）Dae—Khurie 构造含油气组合。目前仅在一个油气田（Okrujhnoye）中发现，其油气储量仅有 29.1×10^6bbl 和 184×10^8ft^3。储集层为盆地最老的岩石及值得注意的孔隙—裂缝型燧石泥岩。圈闭为断层改造的泥岩，由于 Dae—Khurie 储集层一般优于埋深在 5km 左右的非协调褶皱之下中新统，因此它不是该盆地的主要勘探层位。

2）含油气组合分布

主要的含油气组合集中分布在狭长的北北西走向带，最西边为最古老的含油气组合 Dae—Khurie、Uyni 及 Dagi。中部则主要为 Okobykay 含油气组合，最东面为滨岸带和海上的 Okobykay 和 Nutovo 含油气组合，于是，北萨哈林沉积层序的进积构造直接影响到含油气组合的分布。

3）影响油气有效圈闭的因素

（1）油气生成：主要烃源岩的生成期为早中新世至今，而含油气系统地层延伸的时间约为 35Ma 至今，主要活动期为 23Ma 左右。

（2）圈闭形成：对同生沉积构造和地层圈闭而言，形成的时间为晚中新世。而大多数构造和复合圈闭则形成于晚上新世至第四纪。最主要的油气田与晚上新世至第四纪的后裂谷挤压和造山作用形成的构造有关，因此，圈闭形成的主要时间至少为 3～5Ma。相反，由于同生裂谷期的沉积演化及在上新世至第四纪挤压幕期间近 10 个褶皱使构造运动幅度增加，所以一些较低幅度的构造圈闭则形成较早。

（3）最早封闭：大多数储集层是在其沉积后不久便被页岩或燧石夹层所封闭。Due—Khurie 储集层是由晚上新世至早中新世的燧石页岩所封闭；中中新统中的 Uyni 和 Dagi 储集层是在其沉积后的 3～6Ma 由累计厚度在 40～80m 的泥岩层序立刻封闭。Nutovo 储集层则是在其沉积后不久由 40～80m 厚的泥岩封闭。

6. 含油气系统

确定东萨哈林—鄂霍茨克盆地的石油系统非常困难，原因有二，一是各种已知生油岩的

相对重要性还未明确，二是复杂的构造活动有可能造成多烃源区的油气混杂在一起。从现已发现油气的物理化学特征分析来看，主要取决于其埋藏深度，而不是储集层发育的层位。很清楚，盆地中的烃源岩并非一个，可能是多个混合。新近系的进程特征说明不同的烃源岩在过去的某段时期已进入生油窗口，这就使解释陆上和海上的油气田来源于不同的烃源岩成为可能，部分海上中新统烃源岩的成熟度较低（$R_o<0.5\%$），说明海上的大部分未成熟烃源岩已生成天然气。

因此，目前只能认为东萨哈林—鄂霍茨克盆地只有一个含油气系统，即北东萨哈林含油气系统。该系统包含了东萨哈林—鄂霍茨克盆地所有成熟的渐新世到上新世的生油岩（以及可能的海上未成熟生气岩），所有从上渐新统 Dae—Khurie 组到上新统 Nutovo 组储集层，各种区域性的、半区域性的盖层以及所有油气运移通道和圈闭。

7. 油气储量及丰度

油气田发现数目最多的是 20 世纪 60 年代，共有 23 个发现，获得油气储量 4.95×10^8 bbl 油当量，平均每个油气田的储量为 $2\ 150\times10^4$ bbl 油当量。最重要的储量增长期是 20 世纪 70 年代末和 80 年代初，在此期间发现了多个海上大油气田。根据 1993 年对现有油气田的统计，其最终可采储量石油和凝析油为 $2\ 347\times10^6$ bbl，而天然气则为 $247\ 610\times10^8\ ft^3$；其油气丰度见表 1—6—4。

表 1—6—4　东萨哈林—鄂霍茨克盆地油气丰度（1993）

类　型	石油和凝析油	天　然　气	总　　量
油气丰度	10 930bbl/km^2	$115.4\times10^6\ ft^3/km^2$	30 188bbl（油当量）/km^2

8. 主要圈闭类型

该盆地的主要圈闭类型为构造、构造—地层型，而地层型岩性圈闭则是今后的主要勘探对象。

9. 油气田分布

在东萨哈林—鄂霍茨克盆地，储量在 $2\ 500\times10^4$ bbl 油当量以下的油气田数量占全盆地油气发现总数的 60%，但所拥有的储量只是全盆地储量的 3%；储量为亿桶级的油气田占全部油气田数目的 18%，但其所蕴藏的储量是全盆地储量的 85%（图 1—6—6）。

东萨哈林—鄂霍茨克盆地的工业性含油层属第三纪沉积。含油层主要为 Okobykay 组，少量的属 Dagi 组和 Nutovo 组。这些油田一般是较小的短轴背斜构造，有时呈延伸达 25 km 的狭长背斜构造（Paromay 油田）。所有隆起几乎都呈南北向，而且通常不对称。背斜构造常被纵向、横向和斜向构造断裂复杂化。被纵向和斜向断裂所切割的隆起形成最复杂的断块构造（例如东艾哈比、中奥哈、帕拉玛依油田）。这些油田的地层倾角很大，陡翼达 50°～80°，缓翼达 30°～50°。西北 Ekhabi、Odoptu、Tungor、Kolendo 油田构造最简单、最平缓（倾角为 5°～20°）。

图 1—6—7 和 1—6—8 为 Okha Tsentral′naya 油气田和 Dagi Vostochnoye 油气田的等值线图和剖面图。

所有油藏都是多层的（3～15 个油层），埋藏深度为 80～2500 m 或更深。某些油田（Kolendo、东 Ekhabi、Volchinka 油田）不仅有油藏、油气藏，还有气藏。油藏面积多为 1～2 km^2，极少数为 6～9 km^2。通常，石油储量的主要部分都集中在由 1～2 个油层组成的

油藏内，只有个别油田在 3～4 个油层内。油田的开发指标取决于这些油层的性质。

储集层为砂岩和粉砂岩，基本上都含泥质。产层具非均质性，含泥岩夹层，渗透性不均一，横向上局部被非渗透性岩层所取代。平均有效厚度为 10～50 m。平均渗透率的变化范围大，一般为（10～400）$\times 10^{-3} \mu m^2$。

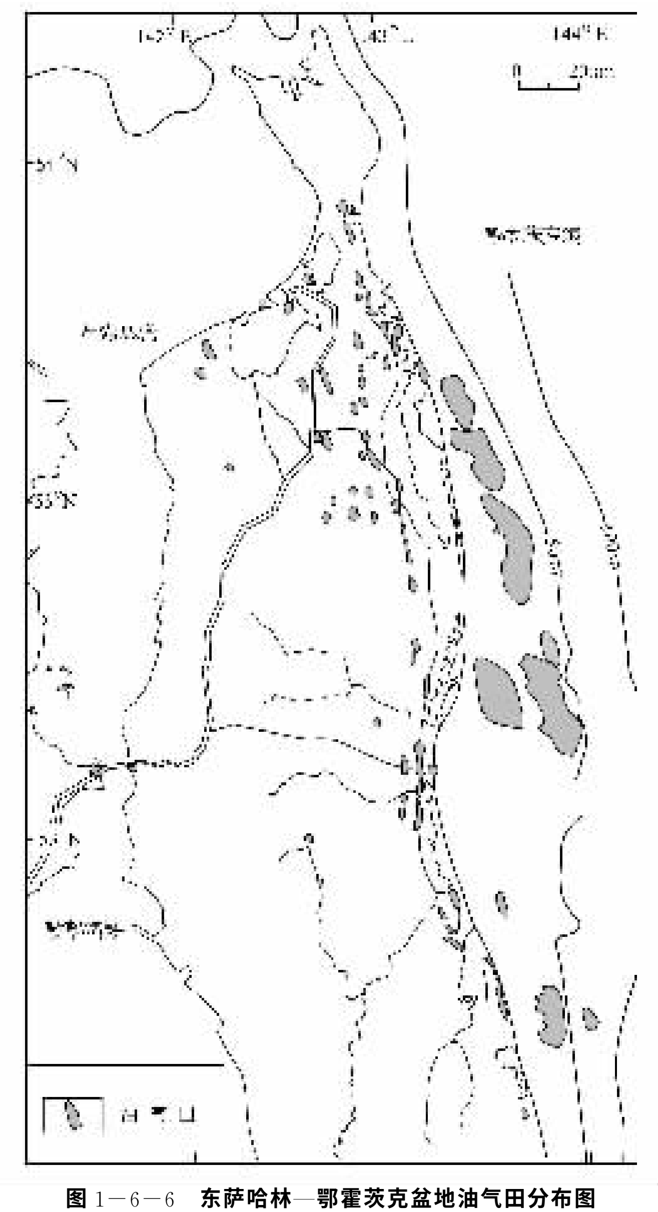


图 1－6－6　东萨哈林—鄂霍茨克盆地油气田分布图
（引自 Marat Modelevsky 等，1995）

10. 大油气田和典型油气田（藏）

1）陆上

东萨哈林—鄂霍茨克盆地的陆上部分已进入极高的勘探成熟阶段，在近 $2\times 10^4 km^2$ 的沉积区中，到 1994 年底，共完成地震测线 4.15×10^4 km，地震测线密度达到 0.5 km^2/km，钻探井 2 145 口，总进尺为 394×10^4 m，每平方千米钻探井 0.11 口，共发现 64 个油田，累计探明石油可采储量为 12.449×10^8 bbl、天然气为 45 $173\times 10^8 ft^3$。单井探明石油可采储量 60×10^4 bbl、天然气 40×10^4 bbl 油当量，平均成功率 3%。

2）海上

到 1994 年底，探井只有 86 口，探井进尺 15.4×10^4 m，探井钻进密度 2 290.7 km^2/口。海上地震测线为 13.9×10^4 km，地震测线密度为平均 1.4km^2/km。油气勘探程度远远低于陆上地区，仍处于勘探未成熟阶段。

在海上，已获 7 个油气发现，它们都集中在靠近萨哈林岛北部水深小于 100m 的大陆架，其中 3 个属大型油气田，Pil'tun—Astokh 油田的石油可采储量是 4.65×10^8 bbl，Odoptu—More 油田的石油可采储量为 2.83×10^8 bbl，Chaivo—More 油田的可采储量是 1.24×10^8 bbl（表 1－6－5）。

表 1－6－5　东萨哈林—鄂霍茨克盆地主要油气田

油(气)田名	最终可采储量		
	油(10^6bbl)	凝析油(10^6bbl)	气($10^8 ft^3$)

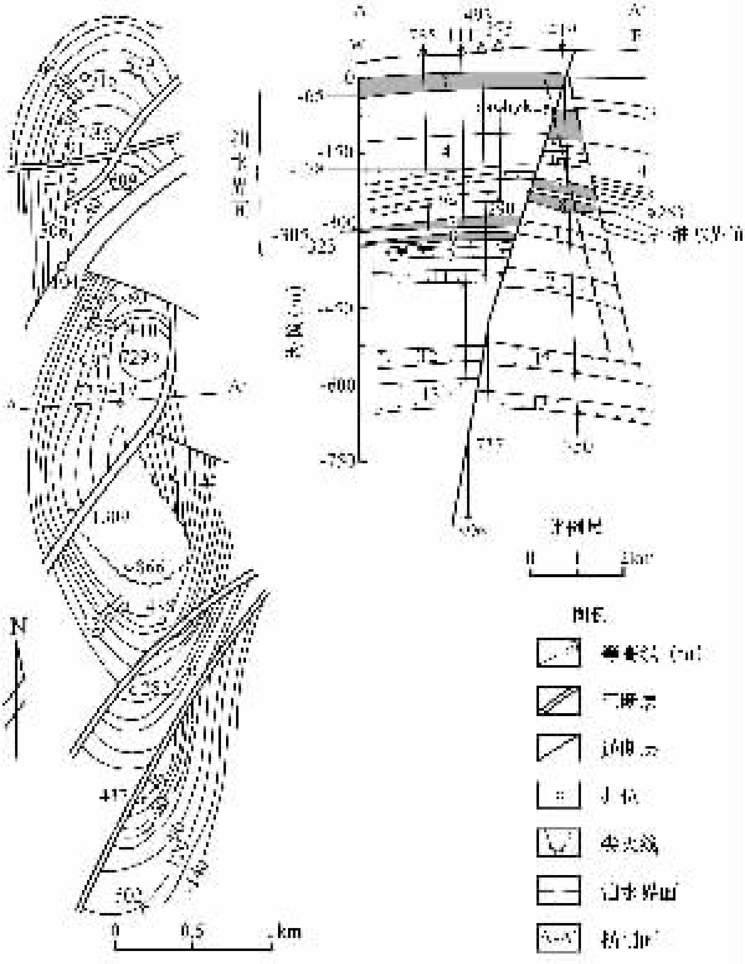


图 1—6—7　Okha Tsentral′naya **油气田等值线图和剖面图**

（**引自** Marat Modelevsky **等**，1995）

Lun(Lunskoye)	**19. 92**	**0. 208**	**99 785**
Mongi	**123**	**3. 08**	**6 510**
Okha Tsentral′naya	**155**	**20**	
Sabo Zapadnyy	**53**		**230**
Ekhabi	**120**		**730**
Ust′—Tomi		**2. 08**	**1 750**
Sabo	**24**		**2 840**
Kolendo	**113**		**1 690**
Volchinka	**23**		**3 830**
Shkhunnoye	**16**		**1 138**
Nel′ma	**12**		**700**
Gilyako—Abunan	**10**		**990**

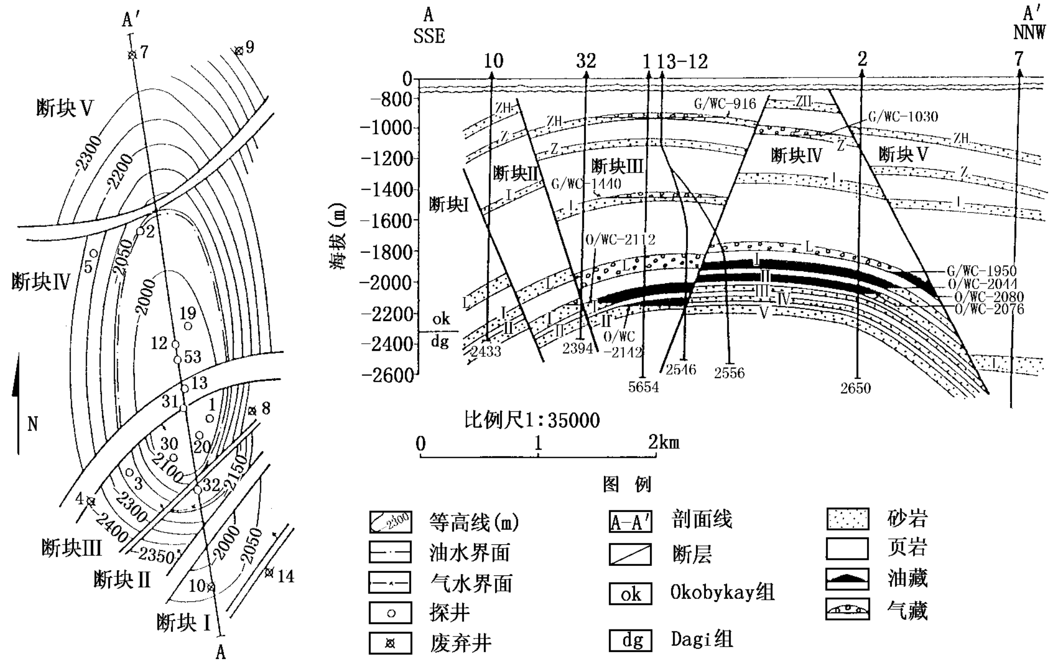


图 1－6－8 Dagi Vostochnoye 油气田等值线图和剖面示意图（引自 Marat Modelevsky 等，1995）

Ust′—Evay		6.2	1 500
Verkhne—Nysh		0.416	444

续表

油(气)田名	最终可采储量		
	油(10^6bbl)	凝析油(10^6bbl)	气(10^8ft^3)
Odoptu—More	283	14.31	21 280
Kirinskoye(Sakhalin)		13.54	5 070
Pil′tun—Astokh	465	35.17	26 730
Mirzoyev	42	3.59	3 200
Mukhto	66		495.2
Arkutun—Dagi	67	10	7 950
Paromay	72		786
Ekhabi Vostochnoye	118		800
Dagi Nizhnyeye	3.15	2.56	737
Dagi Vostochnoye	6.5		450
Tungor(Tungorskoye)	46	1.95	4 300
Kydylan′i	16		2 430
Uzlovo		0.74	2 600
Odoptu	20		420
Okruzhnoye	30		190

Nabil'	26.5		680
Chaivo—More	124	69.61	40 920

海上的可采油气储量是陆上的 2 倍多，达到 44.7×10^8bbl 油当量，其中包括天然气 $202\ 240\times10^8$ft^3，石油 11.02×10^8bbl。海上的单井探明储量也远远高于陆上地区，为 $1\ 280\times10^4$bbl，天然气为 $3\ 920\times10^4$bbl 油当量。探井成功率 8.1%。

3）*Okha Tsentral'naya* 油气田

发现于 1923 年，目前处于提高采收率生产阶段。位于陆上萨哈林岛的东北部，面积 11.35km^2。

最终可采储量：155×10^6bbl 原油和 20×10^8ft^3 天然气。截至 1993 年已产109 248 500 bbl 原油和 11.3×10^8ft^3 天然气。

主要的储集层是上中新统 Okobykay 组砂岩，深度 70～575m。

圈闭为南北向狭长的不对称背斜，西翼倾角 10°～30°，东翼倾角 15°～80°，被大的逆断层和正断层切割成数个断块。断层封闭和尖灭形成主要的圈闭机制。断层落差随深度增加而减小。

4）*Lun*（*Lunskoye*）天然气发现

发现于 1984 年，目前处于开发评价阶段。位于海上大陆架东萨哈林复向斜。水深 41m，长 33.4km，宽 14km，面积 367km^2。

最终可采储量：$99\ 785\times10^8$ft^3 天然气；19.92×10^6bbl 石油；20.8×10^4bbl 凝析油。主要的储集层为中中新统 Dagi 组砂岩和泥质砂岩，深度 1 953～2 108m。主要的烃源岩为下、中中新统含煤页岩。

圈闭为宽 8.5km、长 26km、受逆断层影响的南北走向的不对称短轴背斜，高 600 m，被 4 条东西走向的断层切割为 5 个断块。主要的圈闭机制为断层封堵和横向相变，属 Dagi 地层—构造含油气聚集带。

11. 勘探开发历程及现状

到 1994 年底，全盆地共完成地震勘探 18×10^4km，地震测线密度 1.2km^2/km；钻探井 2 231 口，探井进尺 409×10^4m，探井密度 97 km^2/口。据估计，该盆地的石油可采资源量达 6.3×10^8t，天然气达 1.05×10^{12}m^3，其中四分之三以上的油气资源分布于大陆架区，岛上以石油资源为主，海上油、气资源各占一半。

已有 71 个油气田或油气发现，探明石油可采储量 23.47×10^8bbl，天然气 24.741×10^{12}ft^3。石油丰度为 10 930bbl/km^2，天然气丰度为 1.154×10^8ft^3/km^2。全区的平均探井成功率为 3.2%。

五、小结

（1）东萨哈林—鄂霍茨克盆地是俄罗斯远东地区的一个新生代裂谷盆地，其形成与亚洲板块的构造史有关，主要受北海道—萨哈林右旋断裂系和左旋剪切系的直接控制。晚渐新世到早上新世是盆地的主要形成阶段。

（2）主要的岩相有：滨海相、海相砂泥质沉积以及深水泥质沉积。

（3）晚渐新世—早中新世 Machigar—Dae—Khurie 组深海相硅质泥岩是盆地的主要生油岩。

（4）主要的储集层包括 Dagi 组、Okobykay 组和 Nutovo 组砂岩和粉砂岩。储集层物性普遍较好，影响储集层性质的一个重要因素是储集层埋深。

（5）该盆地的主要圈闭类型为构造、构造—地层型，而地层型岩性圈闭则是今后的主要勘探对象。

参考文献

何炳文．1989．鄂霍茨克海洋地质调查概况．海洋地质，（1）

奥鲁德热娃．1995．俄罗斯周边海域油气藏的勘探前景．海洋地质，（4）

И. Н. Шарбагова．1987．苏联萨哈林地区油田的开发特点．油气田开发工程译丛，（11）

Н. И. Филатова．1988．鄂霍茨克—楚科奇火山带构造结构特征．石油地质情报，（2）

И. К. Туеэов．1989．鄂霍茨克海岩石圈稳态热流的数字模拟．国外地质，（1）

Belonin M D Grigorenko Y N，Chilingar G V．1996．Hydrocarbon Distribution in Sedimentary Basis of Northeastern Asia，Journal of Petroleum Science & Engineering，Vol. 15，No．2—4

Gnibidenko H S，Khvedchuk I I．1982．The Tectonics of the Okhotsk Sea，Marine Geology，No．12

Gnibidenko H S，Khvedchuk I I．1984．Basic Features of Geology of the Sea of Okhotsk，the 27th International Geological Congress

Mustafin I A．1989．Ti-Progradational Accumulation of Sediments and Conditions of Their Lithofacies Zonation in Shifting Troughs，Geol Nefti Gaza，No．12，38—41（In Russian）

Petroconsultants．1995．Basin Monitors East Sakhalin—Okhotsk Basin

Sil Verman M R．1990．Exploratory Drilling Near Sakhalin Island Expected to Increase. Oil & Gas

Tuezov I K，Epaneshnikov V D．1989．Modeling of the Geothermal History of the Okhostk Sea Lithosphere. Tectonophysics，Vol．164，No．2—4

Worrall D M，Kunst F，Kruglyak V，*et al*．1996．Tertiary Tectonics of the Sea of Okhotsk，Russia：Far—Field Effects of the India—Eurasia Collision，Tectonics，No．8

Xu X，Harbert W，Dril S，*et al*．1997．New Paleomagnetic Data from the Mongol—Okhotsk Collision Zone，Chita Region，South—central Russia：implications for Paleozoic Paleogeography of the Mongol—Okhotsk Ocean. Tectonophysics，No.，1—2

Yuri B，Gladenkov．1980．Stratigraphy of Marine Paleogene and Neogene of Northeast Asia（Chukotka，Kamchatka，Sakhalin）．AAPG B.，No．7

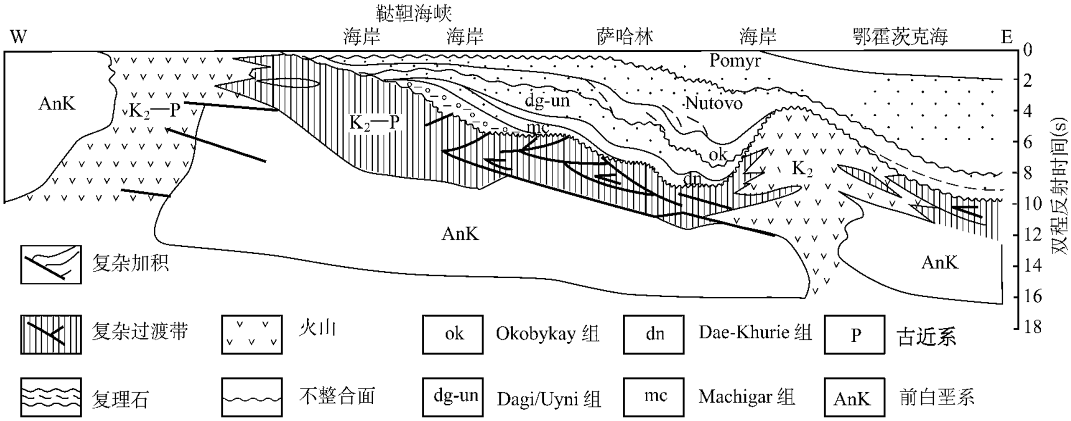


图 1—6—3　东萨哈林—鄂霍茨克盆地区域横剖面示意图（引自 Marat Modelevsky 等，1995）

第二章　东南亚裂谷盆地

东南亚地区沉积盆地众多，其中含油气盆地就达 50 个以上，并且是东亚油气最为丰富的地区。为此，本文对该区 10 个主要含油气裂谷盆地的石油地质特征进行了详细调研与分盆地论述。它们分别是：北苏门答腊盆地、打拉根盆地、库泰盆地、湄公三角洲盆地、南苏门答腊盆地、萨拉瓦蒂盆地、泰国湾盆地、西北巴拉望盆地、西爪哇盆地及中苏门答腊盆地。

第一节　北苏门答腊盆地

北苏门答腊（North Sumatra）盆地为一菱形盆地，它位于苏门答腊岛北部的巴里桑（Barisan）山系以东，并延伸到马六甲海峡及安达曼海。其陆上部分限制在印度尼西亚境内，但其海上部分（占该盆地 84%）则向北延伸至泰国海域，并与墨吉盆地相连，向东延伸至马来西亚（图 2—1—1），盆地面积为 137 310 km^2。其东西向剖面上与我国东部的断陷盆地极为相似，为典型的箕状断陷盆地（图 2—1—2）。沉积物向东北方的巽他台地变薄，向西南的巴里桑山前逆冲带增厚。在该山前带始新世至今沉积了约 8 000 m 厚的沉积物。该盆地位于泰国境内的深陷区，其沉积物厚度也达 8 000 多米。

在大地构造上，该盆地位于巽他克拉通的西南缘，其西南界为苏门答腊（Semangko）断层，它是一条右旋走滑断裂带，沿苏门答腊岛长轴延伸，走向近北西—南东向，为巽他克拉通与缅甸板块的分界线（图 2—1—3），沉积物向东北方向的巽他克拉通和东南方向的 Asahan 群岛（前第三系花岗片麻岩凸起）上超覆，西北界为墨吉山脉和阶地。从东西向的横剖面上来看，该盆地由一系列基底凸起和凹陷组成，包括：位于印度尼西亚的西爪哇凹陷、西部凸起、东爪哇凹陷、Arun—Cunda—Peusangan 凸起、Lho Sukon 凹陷、Tamiang 凹陷和 Tamiang 凸起；位于泰国境内的西墨吉盆地、中央凸起、东墨吉盆地、Ranong 山脉和 Ranong 深凹。

一、区域地质

北苏门答腊盆地是与印度—澳大利亚板块和欧亚板块碰撞有关的扭转运动背景下形成的拉张盆地。盆地形成过程中发生了数次断裂作用，并不时被海侵、上升和剥蚀过程所中断。右旋的走滑运动造成了晚始新世裂谷的开始及 Pase 坳陷和 Tampur 台地雏形的形成，Tampur 组碳酸盐岩沉积于该台地上。早始新世末期的构造反转运动导致始新世沉积物的广泛剥蚀。晚渐新世热流的减小和海侵作用导致 Parapat 组冲积层（印尼）和 Ranong（泰国）组的河流—三角洲沉积，垂向上韵律明显并向盆地方向变为开阔海相页岩。早中新世挤压作用造成区域性隆起和剥蚀。早中新世至中中新世地壳活动相对比较沉寂，此时在盆地的凸起区沉积了碳酸盐岩礁（Arun 段、Tai 段），在低洼处沉积了半深海页岩和泥灰岩（Katang 和 Peutu 地层），而在盆地边缘沉积了浅海和三角洲碎屑沉积物（Belumai 和 Payang 地层）。在中中新世形成了深海环境，并沉积了巨厚的 Baong 和 Trang 组页岩。晚中新世至上新世巴里桑山脉的隆起区为 Keutapang、Seuraula 和 Julu Rayeu 组的粗粒碎屑岩沉积提供了物源，

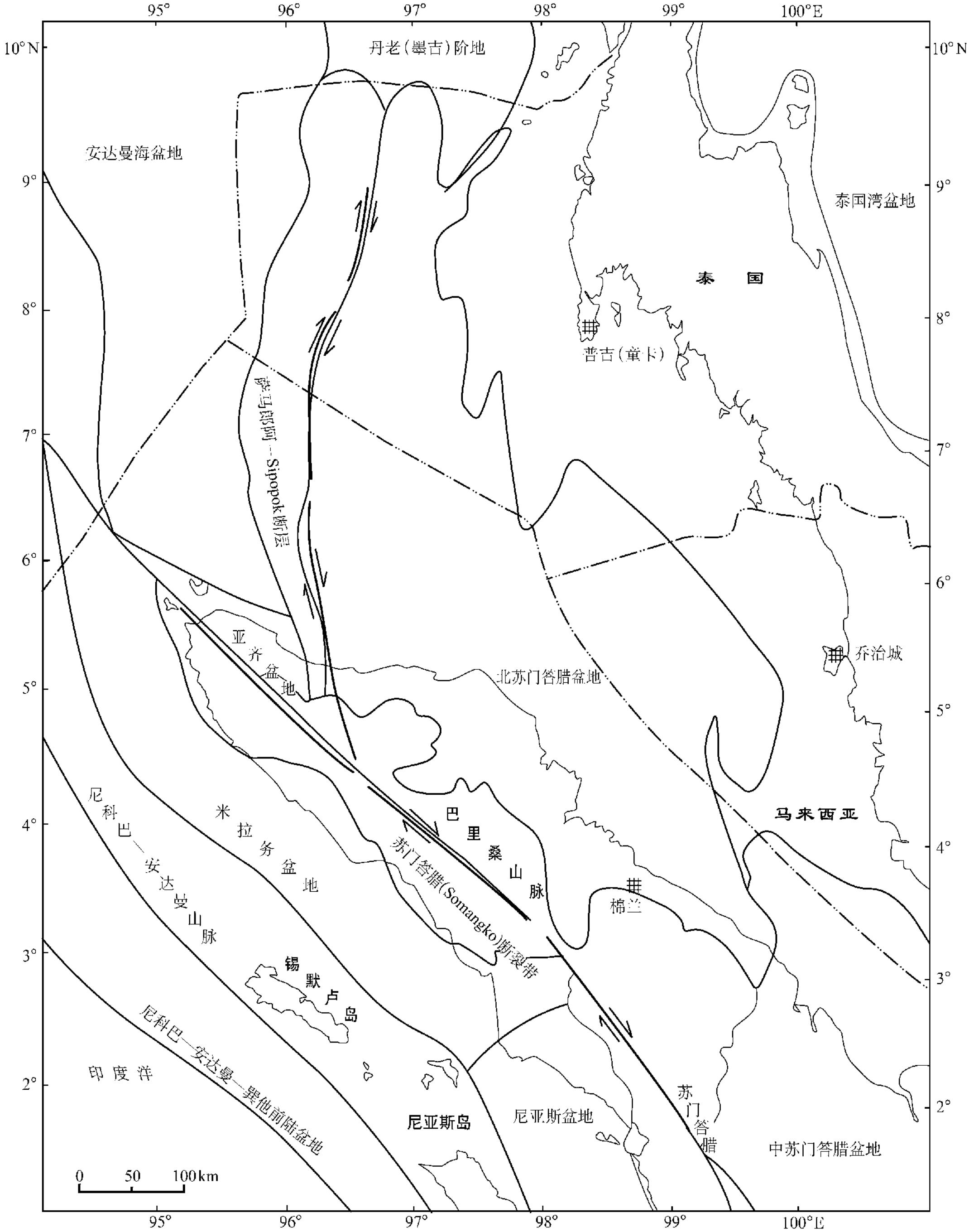


图 2—1—1　**北苏门答腊盆地位置图**（**引自** Petroconsultants，1993）

与此同时，在远物源的墨吉盆地沉积了 Takua Pa **组页岩。**

1. **盆地演化**

本文提及的断层和褶皱的走向均以北苏门答腊盆地现在的方位而言，“墨吉盆地”这一术语是指该盆地在泰国境内的部分（盆地北部）而并非一个独立的盆地。

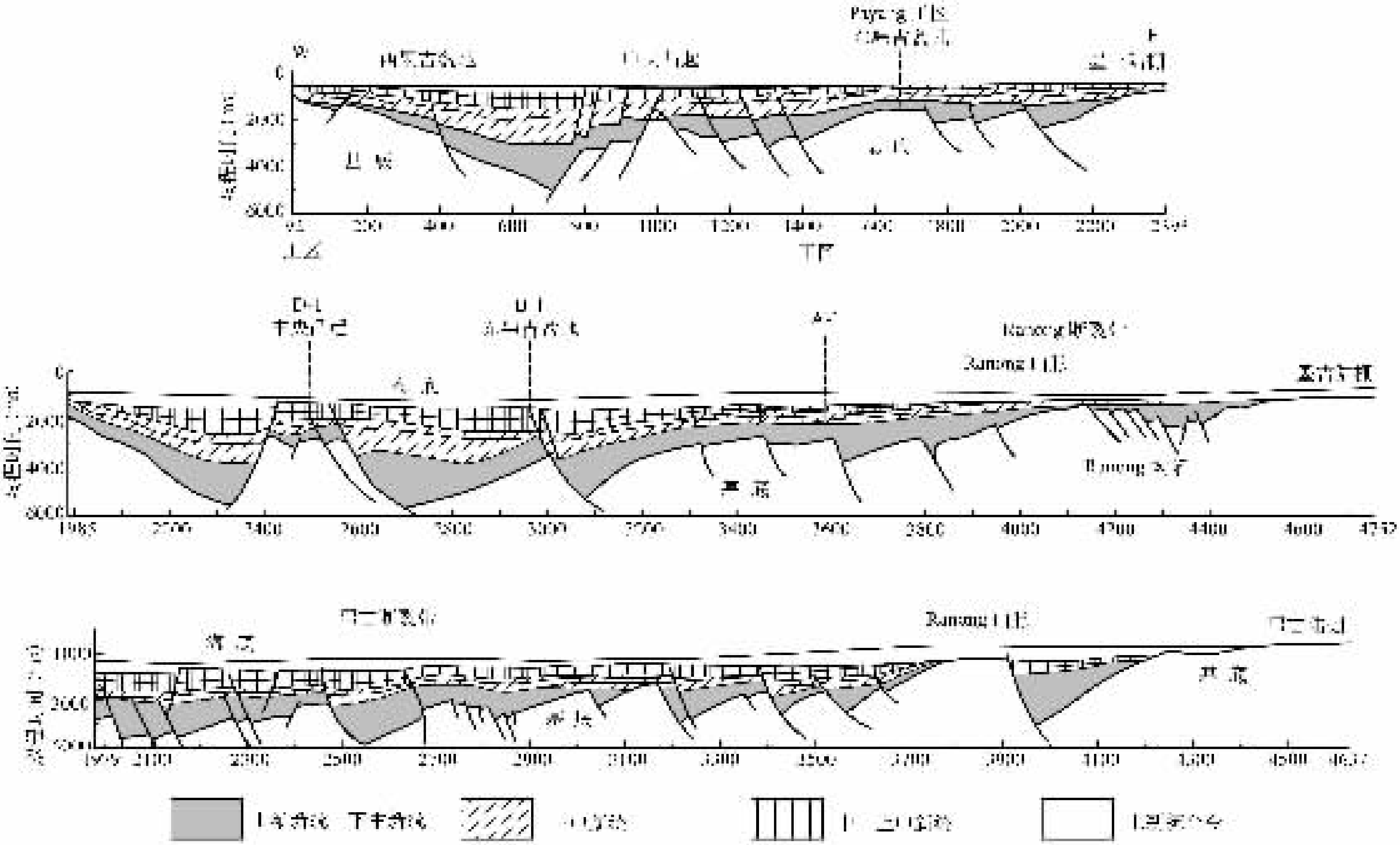


图 2—1—2　**北苏门答腊盆地横剖面图**（据 Polachan 等，1991）

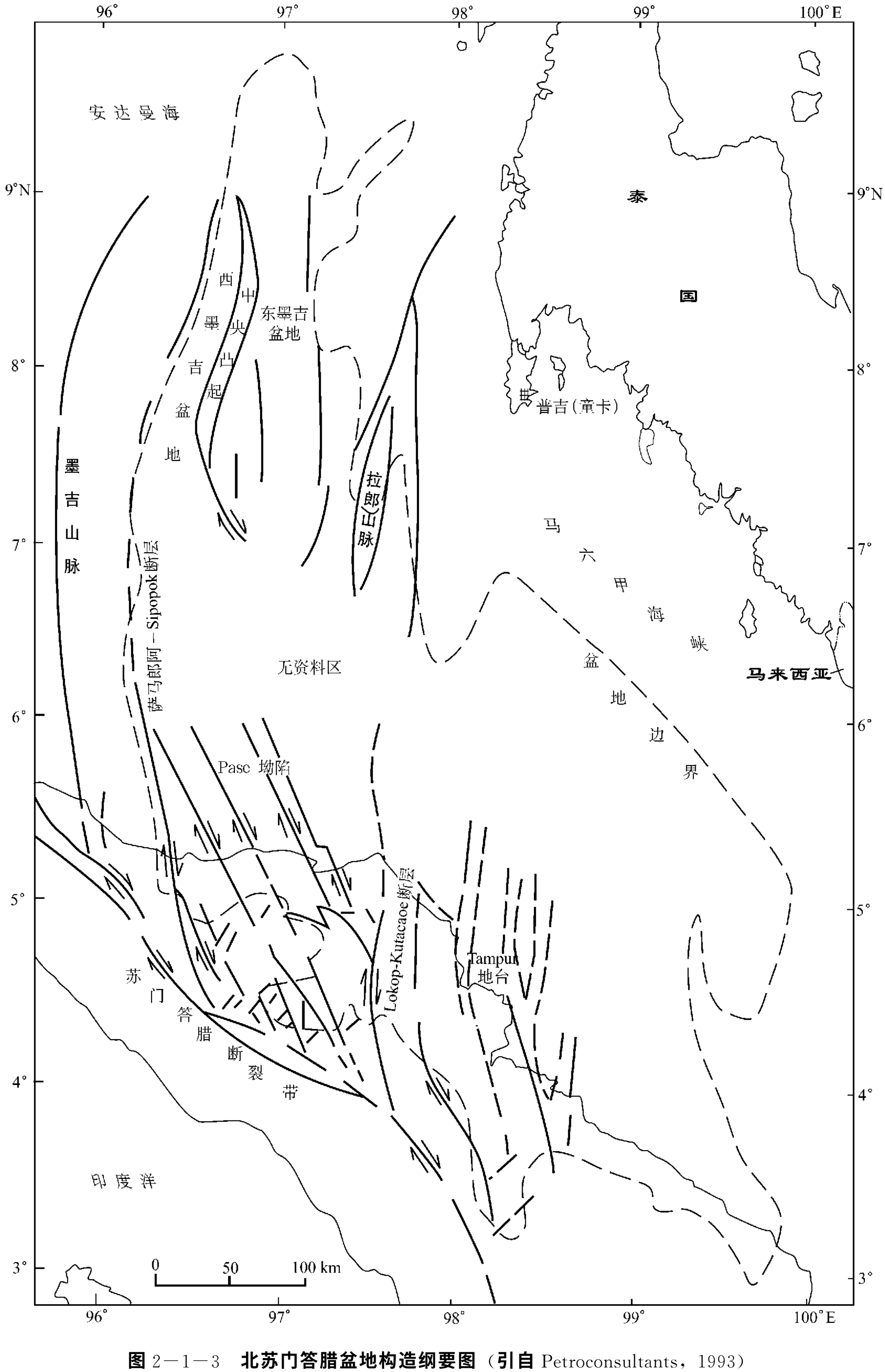


图 2—1—3　北苏门答腊盆地构造纲要图（**引自** Petroconsultants，1993）

关于在印度—澳大利亚板块与欧亚板块碰撞之前苏门答腊盆地的方位有 2 种看法，一种认为是东西向，另一种认为为南北向，平行于马来半岛。根据前一种观点，导致旋转的驱动机制为印度板块与欧亚板块碰撞的结果，它使已存在的北西西向俯冲带（位于印度尼西亚之南）变形为现今的形态。第二种观点认为是始新世期间发生于马来及泰国湾盆地的裂陷和地壳减薄使该岛旋转，而后又在中中新世晚期至今安达曼海洋壳侵位导致又一次旋转。盆地的演化主要经历了以下几个阶段。

1）前第三纪基底形成期

北苏门答腊盆地前第三纪基底由巽他克拉通的花岗岩侵入体和低变质沉积岩组成，该克拉通是在印支运动期间（早三叠世），由中国南方地块、印度地块和中缅地块的增生所形成的；直到晚白垩早期苏门答腊才发生小规模的基岩/岛弧增生。中生代时期该克拉通有沉积发生，沉积物随后又发生了变质，探井中发现的白云岩、白云质灰岩和千枚岩为三叠纪产物，由于剥蚀或未发生沉积，未发现白垩纪和早第三纪沉积物。北苏门答腊有 3 套火山—沉积序列：石炭系—二叠系 Tapanuli 群的冰川—海相序列；二叠—三叠系 Peusangan 群的火山弧及弧后序列；侏罗系—白垩系 Woyla 群的火山弧蛇绿岩及弧后序列。

2）拉张期：晚始新世（39—33 *Ma*）扭张阶段及其后的早渐新世晚期的反转（33—30 *Ma*）

北苏门答腊盆地起始时间正好与印度—澳大利亚板块和欧亚板块聚敛起始的时间相吻合，这种板块汇聚引起了巽他克拉通的剪切应力。东北方的马六甲断层和西南边的苏门答腊断层的右旋运动在苏门答腊弧后背景上形成了一系列的拉张盆地。北苏门答腊拉张裂谷（Sosromihardjo′s Pase 坳陷——现为爪哇凹陷、西部凸起、Arun—Cunda—Peusangan 凸起和 Lho Sukon 凹陷），主要边界断层为南北走向的 Samalgang—Sipok（西边）断层及 Lohop—Kutacane—Rayeu Alignment 断裂（东边），它们分别将 Sigli 台地及 Tampur 台地与该裂谷分开。后面这条断层一直延伸到墨吉盆地，称为墨吉断层。南北向的正断层也在 Tampur 台地和墨吉盆地形成箕状断陷的沉积中心，沿这些南北向张性断层的走滑运动向北减弱并逐渐消失，这是因为在北苏门答腊盆地北部拉张相对量要小些的缘故。

在这一阶段，Sigli 台地（现称为墨吉群岛，因此，严格意义上并非北苏门答腊盆地的一部分）的沉积主要为 Meucampli 组的河流相碎屑岩，其时代与 Tampur 台地上的 Tampur 组碳酸盐岩相当。接近早渐新世末期，北苏门答腊低洼区发生抬升，导致始新世沉积物遭受广泛剥蚀，这次抬升运动与地壳的减薄及温度升高或沿俯冲带的运动变为斜向挤压有关。沿马六甲和苏门答腊断层的运动继续进行，并沿北北西走向带（现称苏门答腊走向带）形成同向断层组。

3）后裂谷阶段：晚渐新世（30—25 *Ma*）的松弛及北西—南东向的块断、早中新世的挤压、抬升和剥蚀

早渐新世挤压应力的减弱及变薄地壳的热减弱使得沿以前存在的软弱带（苏门答腊走向断层）形成一系列箕状断陷和断陷，并且在随后的海侵中，沉积了一系列的海侵单元。Parapat 组底部的碎屑物质来源于邻近的前第三系凸起，最初以冲积扇的形式沉积于附近的箕状断陷中，但向上表现出受海洋影响的增加。Parapat 组侧向上（向北）和垂向上相变为 Bampo 组的页岩，这些页岩沉积于闭塞的浅海和深海环境，因此碳质含量较高，尤其在其底部。墨吉盆地具有类似的沉积格局，北部的 Ranong 组自下而上由河流—三角洲的碎屑岩沉积变为浅海碎屑岩沉积（碎屑物质来源于北面和东面的巽他大陆），并在侧向上和垂向上

相变为南部的 Yala 组外陆棚和深海页岩，Yala 组中孤立的砂岩透镜体代表海底扇沉积，在此期间碳酸盐岩可能开始在地势高的地方形成。早中新世时，挤压应力再次增强并导致区域性抬升和剥蚀。

4）静止期：早至中中新世（25—10 *Ma*）

在这一相对平静的阶段，整个盆地为开阔海环境，从而在基底凸起上发育了生物礁（Arun—Cunda—Peusangan 凸起上的 Arun 段，中央凸起上的 Tai 段），在其间的低洼处沉积了半深海环境的 Peutu 组。由于地块下冲而导致热流降低并下沉，从而形成热凹陷。在东部的 Tampur 台地上，生物礁沿 Rayeu Hinge 带沉积（如 Alur Siwah 灰岩），浅海相 Belumai 组沿盆地边缘沉积。在马六甲陆棚的碳酸盐岩台地北部形成塔礁（马六甲灰岩），而在基底凸起上则形成了碳酸盐岩台地（Belumai 碳酸盐岩）。在 Meigui 盆地沉积了 Payang 组进积型三角洲沉积物，间歇性海平面下降导致生物礁冠的剥蚀及表生成岩作用。

中中新世一次快速海侵淹没了 Belumai 和 Peutu 生物礁，且其上覆盖了 Baong 组的海相沉积，沉积区距巽他大陆的距离表明该盆地大部分地区沉积了一层很厚的半深海页岩，向底部变为砂质沉积。在部分地区发育了一套侧向上不连续的底部砂岩（Penulin 砂岩）。在墨吉盆地北部，沉积了 Surin 组浅海三角洲前缘相砂岩。

在中中新世末，巴里桑山脉发生抬升及逆冲，于是在 Tampur 台地的部分地区开始了中 Baong 段砂岩的沉积，其后，出现了半深海沉积环境，并沉积了 Baong 组上段的页岩。在苏门答腊北面，沿俯冲带的聚敛更加倾斜，澳大利亚—印度板块与巽他克拉通间的相互作用导致该克拉通边缘破裂，激活了缅甸板块，并导致安达曼海的海底扩张。

5）第二期裂谷同期至后裂谷阶段：晚中新世至上新世（10—2 *Ma*）拉张及苏门答腊走向断层复活，巴里桑山脊继续抬升

沿苏门答腊断层进一步的走滑运动激活了南北向（原为张性）断层和渐新世的同向断层组，使其发生右旋走滑运动，加上巴里桑山脉的快速抬升和逆冲，形成了南北和北西—南东向的褶皱和逆断层。进一步的挤压和全球范围内的低水位导致在 Baong 沉积后的海退和剥蚀，随后在印度尼西亚沉积了 Keutapang 组的三角洲至浅海相碎屑岩，该盆地在泰国境内的部分（向北）沉积了 Thalang 组的浊积扇沉积物，其上覆的上新统 Seurula 组和 Julu Rayeu 组粗粒河流、三角洲及海陆交互相砂岩表明，西南面巴里桑山脉的抬升对沉积作用的影响明显增强。在远端的墨吉盆地，上新世期间沉积了 Takua Pa 组的深海相页岩。第四纪北苏门答腊盆地由砂岩、粘土和火山质凝灰岩组成，其中也包括 Toba 组。

2. 地层简介

北苏门答腊盆地发育的地层如下（表 2—1—1）。

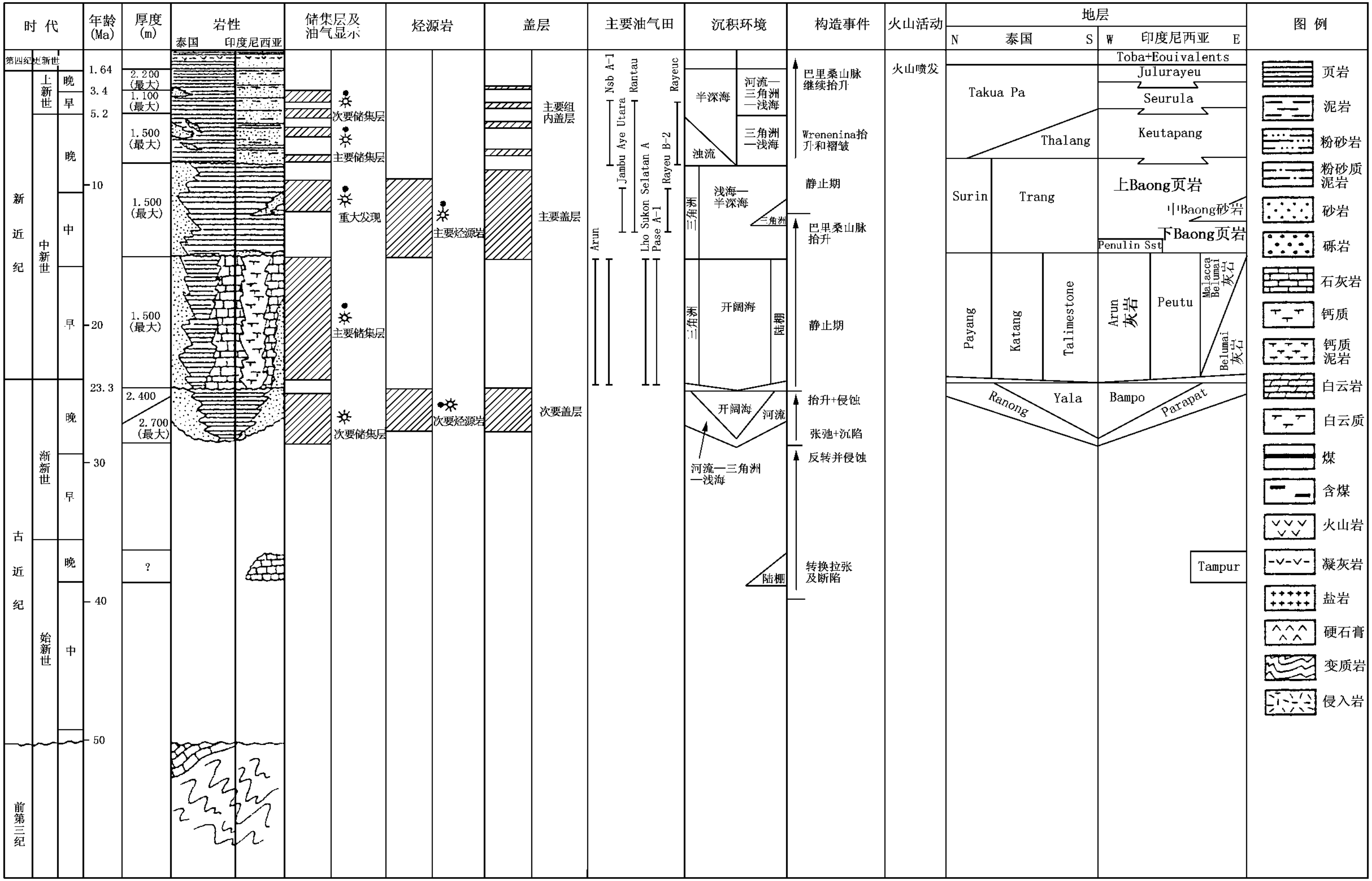
1）上渐新统 *Parapat* 组

以冲积扇相的碎屑岩为主，Parapat 组侧向上（向北）和垂向上相变为 Bampo 组的页岩，这些页岩沉积于闭塞的浅海和深海环境，因此钙质含量较高，尤其在底部。在泰国境内的墨吉盆地称 Ranong 组，该组自下而上由河流—三角洲的碎屑岩沉积变为浅海碎屑岩沉积（碎屑物质来源于北边和东边的巽他大陆），并在侧向上和垂向上相变为南部的 Yala 组陆棚外沉积和深海页岩，Yala 组中孤立的砂岩透镜体代表海底扇沉积的产物。

2）下中新统 *Peutu* 组

该组沉积时不同地区沉积了不同的岩性，该组沉积于低洼处，为半深海的页岩，在东部的 Tampur 台地上为生物礁沉积（如 Alur Siwah 灰岩），沿盆地边缘为 Belumai 组浅海相砂

表 2—1—1　北苏门答腊盆地综合地层（引自 Petroconsultants，1993）



岩。在该台地的北部马六甲陆棚的基底凸起上形成塔礁，称为马六甲石灰岩，在碳酸盐岩台地上沉积了 Belumai 碳酸盐岩。在 Meigui 盆地为 Payang 组进积型三角洲沉积物。

3）中中新统 *Baong* 组

该盆地的大部分地区为一层很厚的半深海页岩，向底部变为砂质沉积物。在部分地区发育了一套侧向上不连续的底部砂岩（Penulin 砂岩）。在墨吉盆地北部称为 Surin 组，为浅海三角洲前缘相砂岩。在 Tampur 台地的部分地区 Baong 组为砂岩，其上为半深海环境沉积的 Baong 组上段页岩。

4）上中新统 *Keutapang* 组

为一套三角洲至浅海相碎屑岩，在该盆地的泰国境内部分（向北）称为 Thalang 组，为浊积扇沉积物。

5）上新统 *Seurula* 组和 *Julu Rayeu* 组

为河流、三角洲及滨海相粗粒砂岩；在墨吉盆地，上新统 Takua Pa 组为深海页岩。

6）第四系

由砂岩、粘土和火山质凝灰岩组成，其中也包括 Toba 组。

二、大地热流

北苏门答腊盆地的地温梯度和热流值（98.2 mW/m^2）与中苏门答腊盆地（136.7 mW/m^2）及南苏门答腊盆地（110.4 mW/m^2）相比较低，但高于全球的平均地温梯度和热流值。拉张裂陷导致地壳变薄，从而使最初的地温梯度增高。地温梯度的差异可以反映地壳的拉张量，如果某区构造复杂，则局部地温梯度的变化会较大。

三、火山活动

该盆地在裂谷发展阶段火山活动不发育。

四、含油气性

1. 烃源岩

在北苏门答腊盆地发育 2 套主要的烃源岩，即中渐新世至早中新世沉积的 Bampo 组页岩和中至晚中新世沉积的 Baong 组页岩；后者更为重要，盆地东部（Tampur 台地上）的油气均来于此烃源岩，并且 Pase 坳陷的天然气也可能源于此。根据原油、页岩、碳质页岩和钙质页岩的地球化学资料分析，有 3 种类型的烃源岩。

在大部分地区 Baong 组沉积于一主要海侵之后的闭塞浅海至深海环境，这次海侵淹没了 Belumai 组和 Peutu 组的生物礁沉积。该组可分为 3 个单元：Baong 组下部的页岩段（包括底部的砂岩及其上的黑灰色钙质页岩）；中部砂岩段，发育于 Tampur 台地上的部分地区，为一套三角洲相沉积物；上部的页岩段，由黑灰色含化石页岩与未分选的砂岩互层组成。

Baong 组中段和下段有很好的生烃潜力，其有机碳含量（*TOC*）为 1.7%，表明为较好的烃源岩；尽管在该组上部 *TOC* 降至 0.5%，但原油分析表明在烃源岩层中存在有结构的陆源干酪根和无结构的海相干酪根，姥鲛烷/植烷（Pr/Ph）的比值低，表明干酪根沉积于缺氧的海相环境，原油的石蜡性质表明干酪根来源于非海相。有结构的干酪根所占的比例（即陆源注入程度）明显向上增加。

Baong 组中段的三角洲沉积物也含有陆源及海相干酪根，每种干酪根所占比例与距物源的距离有关，近岸海相沉积物中含有较多来源于陆生植物的有机质，而前三角洲沉积则含较多海相来源的有机质。有人认为干酪根的这种变化是影响最终油气产物的主要因素，黑色原油来源于前三角洲页岩，而轻质油和凝析油来源于近岸海相沉积物。

通常只有在埋深超过 2 400 m 的地区，Baong 组的烃源岩才成熟并生油。就目前而言，生油窗顶部（$R_o=0.5\%$）在大多数地区位于 Baong 组中段，该组下部目前仍处于成熟阶段并还在生油。

Bampo 组由黑灰色至黑色碳质页岩和粉砂岩组成，这些岩石沉积于第一期裂谷阶段后的闭塞海相环境，在凹陷区其有机碳含量（*TOC*）超过 1.0%，而烃源岩的质量在凸起区变差，且有机碳含量低于 0.5%。有结构和无结构的干酪根都有，但无结构海相来源的干酪根含量比 Baong 组页岩的高，尽管液态烃仅限于生物降解的残余物，但该组既生气态烃也生液态烃。该组现已过成熟，尤其是在深凹陷区；尽管该组在 Baong 时期就开始生油，但石油生成并排出发生在原油降解之前。

在 Kambuna 1、Kemiri 1 和 Polonia 1 井发现生物降解原油，据认为可能来源于 Bampo 组，这种石油可能自 Baong 时期就已进行过运移，并且在生物礁圈闭离古隆起还较近时就发生了生物降解。

Arun 气田的天然气储量是依据 Baong 组和 Bampo 组中的烃源岩进行计算的，研究表明 Arun 气田中的天然气既不是生物成因气也不是石油降解气，而是干酪根的正常热成熟生成气。就目前 Baong 组的成熟度而言只生油，还达不到生气的程度，因此，Arun 气田的气肯定来源于 Bampo 组的页岩。但是，Arun 气田中的气及 Pase 坳陷许多其他气田中的气处于异常高压状态，这对生烃具有重要影响。超压带覆盖在 Pase 坳陷之上，而在前 Tampur 陆棚之上延伸较短，超压带的顶部位于 Baong 页岩之中。

在 Baong 时期，Pase 坳陷及其邻近的 Tamiang 凹陷都是厚层泥岩快速沉积的场所，在这些泥岩或页岩的成岩过程中，蒙脱石/伊利石间的转化（发生在 215～290℃之间）导致脱水，因此，孔隙水的体积会增加 10%。除非存在渗透性夹层排出多余的流体，否则会出现超压。蒙脱石/伊利石进一步转化的结果是伊利石阻塞孔隙喉道，进一步降低渗透率。

如果超压出现在生烃之前，所生成的液态烃将无法排出，伴随高压的升温使烃源岩生成气态烃。

在 Pase 坳陷，地温梯度高，而脱水带薄且埋藏浅。脱水发生并形成超压时，Baong 页岩尚未成熟，随后快速埋藏导致地温迅速升高，高压导致干酪根过成熟而生成天然气，随后，该坳陷所有的前 Baong 油气聚集区都变成了超压带，只含气和凝析油而不含液态烃。在 Tampur 台地上，沉降速率较小，因此在 Baong 组中砂岩更为发育，故未出现异常高压带，液态烃能生成并被排出。

Belumai 组顶部的海相碳酸盐岩为次要烃源岩，现已证实 Tonjol 1 井中的油就来源于此烃源岩。

在南 Pineueng 井中，Peutu 组顶部有机碳含量为 0.9%，TJ 1 井原油分析表明钙质页岩烃源岩的特征与该组相似；但是，这并不意味着该组已生成了大量的烃类。

Keutapang 组和 Seurula 组页岩的有机碳含量（*TOC*）仅为 0.5%，表明其生烃潜力较差。当然，由于生油窗的顶部位于 Baong 组中部，即使这 2 个组的有机碳含量很高，它们也处于未成熟阶段。

2. 储集层

尽管主要勘探目标为 Belumai 组和 Peutu 组的碳酸盐岩建造及 Keutapang 组砂岩，但整个第三系均含油气。在裂谷区及台地区烃类聚集的分布迥然不同：在 Pase 坳陷，天然气和凝析油只产出于与 Peutu 同时代的碳酸盐岩建造中；而在台地区，油、气和凝析油储集于从

Belumai 组到 Julu Rayeu 组的碳酸盐岩和碎屑岩中。

Belumai 组砂岩横向限制较大，仅发育于东部，且靠近盆地边缘，仅在 9 个油气田（包括 Diski、Wampu 和 Belatan 油田）中含有油气。该砂岩微含钙、中粒、分选较好，孔隙度在 15%～25%之间，渗透率在（10～500）$\times10^{-3}\mu m^2$ 之间。

马六甲灰岩的塔礁目前是马六甲陆棚的主要勘探目标，并证实在美孚石油公司的海上 NSB 区块很有希望，已在 NSB A—1、J—1、J—2 及 K—1 等井中有所发现。这些塔礁于早至中中新世发育在南北走向的基底凸起之上，在某些井其闭合高度达 335m。这些礁上覆于碎屑岩之上或与不同厚度的碎屑岩互层，其储集物性变化很大，视沉积环境和成岩作用的影响而定。孔隙度为 7%～30%，渗透率在（10～3 500）$\times10^{-3}\mu m^2$ 之间，美孚石油公司在 1800 的范围内已找到 70 多个这样的生物礁。

在 Pase 坳陷，Arun 段储集层由生物礁建造组成，这些生物礁形成于北北西向的构造高部位之上，并且由珊瑚骨架灰岩、粒泥状灰岩、泥粒灰岩和藻灰岩及其间的灰泥基质组成。坳陷中所有这样的建造都含超压气（有或没有凝析油）。其储集层的性质在短距离内变化很大，且受成岩变化的程度和类型控制。在 Arun 段储集层中，已识别出 4 个不同的带：A 带处于礁的最下部，其渗透率最低；D 带处于礁的最上部，其渗透率最高。另外还识别出 2 个亚带：B3 和 D1，由于非渗透隔层的存在阻止了流体的垂向运动。在南 Lho Sukhon A 储集层中发育 7 个带：1 带和 2 带孔隙度相对较高（后期成岩变化之故），孔隙度自 1 带向 6 带和 7 带降低，后两带为致密低孔带，与白云化作用有关。生物礁的孔隙度为 7%～23%，渗透率可达 1 $500\times10^{-3}\mu m^2$。

尽管 Baong 组中段砂岩位于深海页岩序列中而曾被解释为是浊积岩，但现已认为是三角洲沉积的产物。它由灰色致密细粒钙质砂岩与页岩互层组成，其孔隙度为 15%～25%。在 Pertamina 单元 1 区的西南部，Baong 组上部页岩缺失，Baong 组中段砂岩与 Keutapang 三角洲序列没有分离，在 Baong 组底部的 Penulin 砂岩中也发现了油气。

Keutapang 组和 Seurula 组下部以三角洲沉积为主，三角洲顶部的砂岩为 Tampur 台地提供了重要的油气储集层。在 Keutapang 组沉积时，有 2 个向东北进积的舌状体，在盆地西部陆上发现了 2 个以 Keutapang 组为储集层的油田群。Seurula 组砂岩为透镜状滨岸、三角洲和海相水道砂体。尽管这 2 个组中大多数储集层的厚度未超过 50 m，但多个含油气层叠置十分常见。在 Rantau 油田的 Keutapang 组和 Seurula 组中发现了 33 个含油气层。这些砂岩分选性很好，孔隙度 13%～30%，渗透率（30～3 500）$\times10^{-3}\mu m^2$。在南 Lho Sukhon D 区的 Parapat 组底部裂缝性砂岩中含有油气；各层位油气储量见表 2—1—2。

表 2—1—2　各层位油气储量特征

层　位	下—中中新统 Belumai 组（碎屑岩）	下—中中新统马六甲/Arun 组（碳酸盐岩）	中中新统 Baong 组（碎屑岩）	上中新统 Keutapang 组（碎屑岩）	上新统 Seurula 组（碎屑岩）
油（10^6 bbl）	14.0	26.1	87.5	505.7	18.0
凝析油（10^6 bbl）	22.0	1 501.3	20.3	101.1	0.0
气（10^9 ft^3）	212.0	20 462.0	1 051.0	2 809.6	62.5

3. 盖层

Baong 组的页岩为重要的区域性盖层，不仅为本组中部的砂岩储集层提供了盖层，而且为下伏的 Peutu 组和 Belumai 组储集层提供了盖层。在巴里桑山脉的山前带，盖层可能遭到断裂破坏；而在马六甲陆棚东部盖层缺失。Peutu 组为碳酸盐岩建造提供侧向封堵。Keutapang 组页岩为本组砂体良好的局部盖层，并且在盆地东部为 Belumai 组提供了盖层，因为在此处 Baong 组缺失。Seurula 组页岩为本组砂岩的局部盖层，在盆地西部，Bampo 组页岩为下伏 Parapat 组的盖层。

4. 油气生成与运移

尽管在北苏门答腊盆地仅证实发育了 2 套烃源岩，但储集层却是从早中新世的 Belumai 组到上新世的 Julu Rayeu 组都有发育。第三系成熟烃源岩的顶部埋深从巴里桑山脉附近的不到 600 m 向东增至 Teglaga Said 地区的 2 400 多米及 Arun 地区的 3 000 多米。第三系生烃区的界限位于海中，大致与马六甲陆棚的边缘相吻合。

在某些油田，生油窗顶部与储集层之间的垂直距离很小；而在另一些油田，油气却经历了长距离的垂向运移。Rantau 储集层的埋深在 250～800 m 之间，而生油窗顶部埋深大约为 1 800 m，也就是说油气垂向运移的距离至少为 1 000 m。

在 Tampur 台地，主要勘探目标为后 Baong 组（Keutapang 组、Seurula 组和 Julu Rayeu 组）砂岩，其中的油气来源于 Baong 组页岩，Baong 组下段和中段的生烃能力最强，因此 Baong 组下段和中段所生成的油气必须穿过 Baong 组上部的页岩才能到达储集层，大多数后 Baong 背斜圈闭翼部发育的北西—南东向断层为此远距离的垂向运移提供了通道。

尽管第三系沉积物成熟烃源岩的界限对应于马六甲陆棚的边缘，但在马六甲陆棚上的马六甲段生物礁中却发现了数量可观的油气。有的油气田相对靠近陆棚边缘，但其他的却相距甚远：NSB A1 油田距陆棚边缘有 5 km，NSB R1 油田则有 30 km，这意味着从陆棚之外的生油区中生成的石油要经过很长距离的侧向运移才能到达储集层，例如，通过 Belumai 组砂岩和碳酸盐岩运移到马六甲塔礁中去。

Bampo 组自 Baong 时期就已成熟，早期生成的油气经过短距离的垂向运移进入到 Belumai 组和 Peutu 组中，并随后降解和冲洗。Baong 组现已成熟并生油，其烃源岩的成熟始于晚中新世至上新世，尽管直到晚中新世至上新世只有地层型（及次要构造）圈闭存在，但 Belumai 组、Peutu 组和 Baong 组的砂岩储集层可能已经形成。后 Baong 储集层及 Belumai 组和 Baong 组中段砂岩储集层背斜圈闭（及断层通道）形成的主要时期为中新至上新世，因此直到此时这些圈闭才开始充注油气。在陆棚破裂带以西，没有后 Baong 的油气聚集，这可能是由于超压阻止了烃类的垂向运移所致。

5. 主要含油气组合

下中新统至上新统储集层中均发现了油气，包括 Belumai、Peutu、Baong、Keutapang、Seurula 及 Julu Rayeu 等组。

1）含油气组合类型

（1）中新统碳酸盐岩含油气组合。下中新统碳酸盐岩含油气组合仅在 21 个油气田中含有油气，但却储集了该盆地 77％已发现的油气储量。这是该盆地最重要的含油气组合，因为它包含了 Arun 巨型气及凝析油田。其储集层包括 Arun 段的生物礁石灰岩（及其对应层位）和马六甲石灰岩（及其对应层位），前者在 Pase 坳陷中含气和凝析油，后者在 Tampur 台地上含油、气和凝析油。圈闭主要为地层型圈闭，但含有构造和不整合面所形成的圈闭。

有的生物礁顶部遭受剥蚀并被上覆的 Baong 组页岩所封闭，许多生物礁圈闭遭受了断层的切割，但这只是次要特征并不影响圈闭的封闭能力。自从美孚石油公司在其 NSB 区块中钻遇了大量的马六甲段生物礁后，该组合就显得越来越重要了。

中新统碳酸盐岩地层型油气藏仅在其中 10 个油气田中有所发现，但却包括了该盆地大多数储量，其中凝析油为 1 486×10^6 bbl，天然气为 19 485×10^8 ft^3。它包括发育于构造高部位的 Belumai 和 Peutu 碳酸盐岩生物礁（Belumai 组和 Peutu 组泥岩封闭），有的被 Baong 组页岩封闭，且不整合面也起着封闭作用（如 Arun 组）；碳酸盐岩在 Baong 组页岩沉积之前暴露于地表，因此 Baong 组不整合于碳酸盐岩之上。

而在 3 个油气田中发现中新统碳酸盐岩构造油气藏，即 Belumai 组和马六甲组灰岩发育的背斜圈闭，其油、凝析油和气储量分别为 6.1×10^6 bbl、3×10^6 bbl 和 70×10^8 ft^3。

其 8 个油气田中发现了中新世碳酸盐岩构造—地层油气藏，其油、凝析油和气储量分别为 20×10^6 bbl、12×10^6 bbl 和 9 700×10^8 ft^3，圈闭由背斜和生物礁建造共同形成。

（2）Belumai 碎屑岩含油气组合。在 7 个油气田中发现这一含油气组合，其油气储量仅占该盆地的 1.1%，这可能与该组横向延伸范围（仅发育于盆地边缘）和圈闭较小有关。目前在该组合发现的油气藏仅限于盆地东南部 Meda 地区以西。圈闭主要为中—上新世构造期及巴里桑山脉抬升时形成的构造圈闭，有的圈闭可能与地层有关。

其中 6 个油气田为 Belumai 构造油气藏，其油、凝析油和气的储量分别为 14×10^6 bbl、12×10^6 bbl 和 1 120×10^8 ft^3。储集层为 Belumai 组砂岩，本组的页岩或 Baong 组的页岩为盖层。圈闭为背斜型，并含断层—顶部的次要断层或苏门答腊走向带翼部的主断层。

仅在一个气田，即 Kambuna1 号气—凝析油田中发现 Belumai 构造—地层型油气藏，Belumai 组储集层的盖层为本组或 Baong 组页岩，圈闭由背斜和地层构成，其储量为 10×10^6 bbl 凝析油和 1 000×10^8 ft^3 气。

（3）Baong 组碎屑岩含油气组合。在 Tampur 台地上的 17 个油气田中发现该含油气组合，但其储量仅占该盆地总储量的一小部分（4.4%）。储集层为 Baong 中段及 Penulin 砂岩，盖层为本组页岩，圈闭主要为构造型圈闭。

其中 12 个油气田中发现 Baong 构造油气藏，其油、凝析油和气储量分别为 63×10^6 bbl、20.3×10^6 bbl 和 9 080×10^8 ft^3。Penulin 及 Baong 中段砂岩储集层的盖层为本组页岩，圈闭主要为中—上新世构造期及巴里桑山抬升时形成的背斜圈闭，有的被断层切割，这些断层包括顶部的次要断层或苏门答腊走向带翼部的主断层。仅在 5 个油气田中发现 Baong 构造—地层型油气藏，包括 Besitang 油田，该油田的圈闭主要由背斜和地层尖灭构成，储量为 24.5×10^6 bbl 油和 1 480×10^8 ft^3 气。

（4）后 Baong 含油气组合。这是该盆地最常见的含油气组合，在 45 个油气田中有发现。在 Tampur 台地上大多数油气储集于此含油气组合，其油储量占该盆地的 80% 左右。Keutapang 组和 Seurula 组的砂岩储集层大多沉积于三角洲至浅海环境，盖层为本组页岩。圈闭主要是巴里桑山脉抬升时中—上新世构造事件所形成的构造圈闭，有的也有地层因素。

其中 35 个油气田中发现后 Baong 构造油气藏，其油、凝析油和气储量分别为 451×10^6 bbl、96.1×10^6 bbl 和 25 330×10^8 ft^3。大多数圈闭为背斜（北西及南北走向），其顶部被小断层和北北西向翼部主断层切割（为油气运移的通道）。有的油田中还发育逆断层（Palu Tabuhan Barat），但仅占一小部分。在某些油田中，Baong 页岩还形成底辟构造，刺入背斜的核部。

在10个油气田中发现后Baong构造—地层油气藏，圈闭由背斜加渗透性地层尖灭所构成，在Peudawa和Geudongdong油田，储集层为Keutapang组；而Julu Rayeu油田的储集层为Seurula组；在Merbau，圈闭由被冲断的背斜和Keutapang组非渗透性隔层所构成。这类圈闭中的油、凝析油和气储量分别为72.4×10^6 bbl、5.0×10^6 bbl和$3\ 390 \times 10^8$ ft^3。

2）含油气组合的分布

中新世碳酸盐岩含油气组合分布于Pase坳陷（事实上该坳陷中发现的所有油气均储集于该组合）及马六甲陆棚；Belumai碎屑岩含油气组合分布于Tampur台地，主要在该台地的南部；Baong中段砂岩含油气组合与后Baong含油气组合也分布于Tampur台地。含油气组合的分布反映了原始沉积环境的总体展布规律。

3）封闭时间

在大多数地区，前Baong储集层在中中新世晚期Baong组页岩沉积后就被有效封闭；但是在盆地东部，Baong组页岩缺失，晚中新世Keutapang组页岩沉积后，储集层才得以封闭。而后Baong储集层在其本组内的页岩沉积后不久就被封闭。

4）影响油气有效圈闭的因素

（1）油气生成：Bampo组烃源岩自中中新世至今一直在生烃（现为生气）；Baong组烃源岩自晚中新世/上新世至今一直在生烃。

（2）圈闭形成：地层型圈闭形成于早—中中新世；构造型圈闭形成于早中新世至今，但背斜构造形成的主要时期为晚中新世至上新世。

（3）最早封闭：前Baong储集层在中中新世晚期被封闭；后Baong储集层在晚中新世被封闭。在Bampo组烃源岩开始成熟并生油时，大多数前Baong地层型圈闭和构造型圈闭已形成并充注石油；由于圈闭靠近古地表，致使Bampo组烃源岩生成的大量石油通过渗漏或生物降解而被逸散。但是，到开始生气时，深埋或更有效的封闭已形成，因此，Bampo组烃源岩生成的油气不再散失。Baong组烃源岩自晚中新世—上新世开始成熟，此时，地层型圈闭及早期形成的构造型圈闭随着巴里桑山脉的抬升开始形成，晚中新世及上新世至今仍发育有大规模断层，这些断层为油气通往后Baong构造圈闭提供了运移通道。

6. 含油气系统

该盆地可划分出3个含油气系统，即Bampo/前Baong含油气系统、Baong/前Baong含油气系统和Baong/后Baong含油气系统。

1）*Bampo*/前*Baong*含油气系统

该含油气系统以Bampo组页岩为烃源岩，Peutu组或Belumai组为储集层，上覆Baong组页岩为盖层。储集层包括Arun段生物礁碳酸盐岩及同期地层，马六甲段生物礁碳酸盐岩及同期地层和Belumai组砂岩。该含油气系统形成的油气田包括Arun气田及Diski和Batumandi油气田。

Bampo烃源岩自Baong时期开始成熟生油，目前在许多地区仍在生气，因此该烃源岩生气要求的上覆负荷为当时至今沉积的全部地层。地层圈闭在储集层沉积时形成，而构造圈闭则形成于盆地的整个演化历史中，尤其是在巴里桑山脉抬升过程中（晚中新世至上新世）。该含油气系统持续的时间为30Ma，自Bampo组页岩沉积至今。

2）*Baong*/前*Baong*含油气系统

该含油气系统以Baong组页岩为烃源岩，Belumai组及Peutu组为储集层，Baong或Keutapang组页岩为盖层。储集层包括Arun段生物礁碳酸盐岩及同期地层，马六甲段生物

礁碳酸盐岩及同期地层和 Belumai 组砂岩。所形成的油气田包括 Arun、Cunda、Peusangan 及 NSB A－1 等油气田。

Baong 组页岩目前正处于成熟阶段并生油，其成熟所要求的上覆负荷包括当时至今沉积的全部地层，地层圈闭在储集层沉积时形成，而构造圈闭同样形成于盆地的整个演化历史中，尤其是在巴里桑山脉抬升过程中（晚中新世至上新世）。该含油气系统持续的时间为 25Ma，自 Belumai 组沉积至今。

3）*Baong*/后 *Baong* 含油气系统

该含油气系统以 Baong 组为烃源岩，Baong 组、Keutapang 组和 Seurula 组碎屑岩为储集层，以 Baong 组、Keutapang 组和 Seurula 组的页岩为盖层。储集层为典型的三角洲至浅海相碎屑岩沉积，圈闭一般为背斜；所形成的油气田包括 Julu Rayeu、Alur Cimon 和 Rantau 油气田等。

Baong 组页岩目前正处于成熟阶段并生油，其成熟要求的上覆负荷包括当时至今沉积的全部地层，地层圈闭在储集层沉积时形成，而构造圈闭则形成于盆地的整个演化历史之中，尤其是在巴里桑山脉抬升过程中（晚中新世至上新世）。该含油气系统持续的时间为 15Ma，自 Baong 组页岩沉积至今。

Kingston（1978）曾将该盆地划分为 2 个含油气领域：①前 Baong（早中新世）碳酸盐岩生物礁含气区；②后 Baong（中—上新世）Keutapang 组砂岩（Baong 组和 Seurula 组储集层为次要储集层）含油和伴生气区。

第 1 口在马六甲段灰岩中发现油气的井是 NSB A－1 井，该井钻于 1972 年，随后的 5 口钻井证实了这一发现，但所获得的资料不好。直到 1979 年，才又在马六甲段中发现了第 2 个油气田，随后又在该段发现 7 个油气田。自美孚石油公司在其海上的 NSB 断块钻遇了 60 多个这样的构造后，该段成为一个重要的勘探层。算上这一勘探领域，Kinstong 分类应为 3 个含油气领域，即：①海区前 Baong 碳酸盐岩储集层，含气；②Tampur 台地前 Baong 碳酸盐岩和碎屑岩储集层，含油、气和凝析油；③Baong 及后 Baong 碎屑岩储集层（主要位于 Tampur 台地上），含油、气和凝析油。

4）影响北苏门答腊盆地油气分布的主要因素

（1）拉张裂谷和地堑/半地堑（箕状断陷）的形成、盆地快速沉降区沉积的烃源岩和层内盖层的封闭；

（2）基底地貌高、低起伏的相对位置；

（3）Tampur 台地距沉积物物源较近，因此该台地上以碎屑岩储集层为主；

（4）断层为油气向后 Baong 储集层运移提供了通道；

（5）当储集层仍在地表之下较浅的位置时，Bampo 页岩就已成熟并生油，因而造成冲洗和原油的降解；

（6）中—上新世扭转运动及巴里桑山脉的抬升形成背斜圈闭；

（7）构造圈闭形成之后，Baong 组烃源岩才成熟；

（8）快速埋藏，高地温梯度及在 Baong 页岩中形成的异常高压带。

7. 油气储量及丰度

根据 1991 年底对北苏门答腊盆地各油气田的统计，其最终可采油储量为 651.3×10^{6} bbl（接近 1×10^{8} t），凝析油为 $1\ 644.71\times10^{6}$ bbl，气为 $246\ 021\times10^{8}$ ft³（约 $9\ 000\times10^{8}$ m³），其油气丰度见表 2－1－3。

表 2－1－3　北苏门答腊盆地油气丰度（1991）

类　　型	油和凝析油	气	总　　量
油气丰度	16 720bbl/km^2	$180\times10^6 ft^3/km^2$	46 580bbl（油当量）/km^2

8. **主要圈闭类型**

中新统碳酸盐岩主要为地层型圈闭，但含有构造和不整合面所形成的少量圈闭，许多生物礁圈闭遭受了断层切割，但这并不影响圈闭的封闭能力。中新世碳酸盐岩地层型圈闭仅在10个油气田中有发现，但却储集了该盆地大多数凝析油和气，其中凝析油为$1\ 486\times10^6$bbl，气为$19\ 485\times10^8 ft^3$。大多数背斜圈闭（北西及南北走向）的储集层为碎屑岩，其顶部被小断层和北北西向翼部主断层切割（为油气运移的通道），其代表为后 Baong 储集层。碎屑岩储集层也发育有构造—地层圈闭，圈闭由背斜和渗透性地层尖灭所构成。

9. **油气田分布**

中新统碳酸盐岩含油气组合分布于 Pase 坳陷（事实上该坳陷中发现的所有油气均储集于该组合）及马六甲大陆棚；Belumai 碎屑岩含油气组合分布于 Tampur 台地，主要在该台地的南部；Baong 中段砂岩含油气组合与后 Baong 含油气组合也分布于 Tampur 台地。

10. **大油气田和典型油气田（藏）**

北苏门答腊盆地发现的油气田很多，但除少数几个外，规模都不大，且该盆地以凝析油和气为主（表 2－1－4）。

表 2－1－4　北苏门答腊盆地大型油气田

油　气　田	油 （10^6bbl）	凝析油 （10^6bbl）	气 （$10^9 ft^3$）
Arun	0	1 360.00	17 100.00
Jambu Aye Utara 1	0	18.0	600.00
Lho Sukon Selatan A	0	100.00	575.00
Lho Sukon Selatan B	0	25.00	400.00
NSB A1	0	20.00	1 000.00
Pase A－1	0	0.04	700.00
Rantau	260.00	0	160.0
累　　计	260.00	1 523.04	20 535

上述油气田累计油、凝析油和天然气储量分别占该盆总油、凝析油和气的40%、92.6%和83.5%。该盆地最典型的油气田为 Arun 巨型气及凝析油田（图 2－1－4），这是一个生物礁油气田，为地层型圈闭，其储集层为中新世 Arun 段的生物礁石灰岩，Baong 组页岩起到了一定的封盖作用。

11. **勘探开发历程及现状**

北苏门答腊盆地的印尼部分具有很长的勘探史，属于成熟勘探区。但盆地的马来西亚部分和泰国部分勘探程度较低。勘探结果表明，位于印尼部分的盆地极具潜力，目前已发现了 Arun 巨型气田。但印尼之外部分只有一个发现，为马来西亚的 Singa Besar 气田，储量为$50\times10^8 ft^3$（$1.4\times10^8 m^3$）。盆地油气总储量分别为$2\ 300\times10^6$bbl（3.15×10^8t）和$246\ 000\times10^8 ft^3$（$4\ 131.8\times10^8 m^3$）。

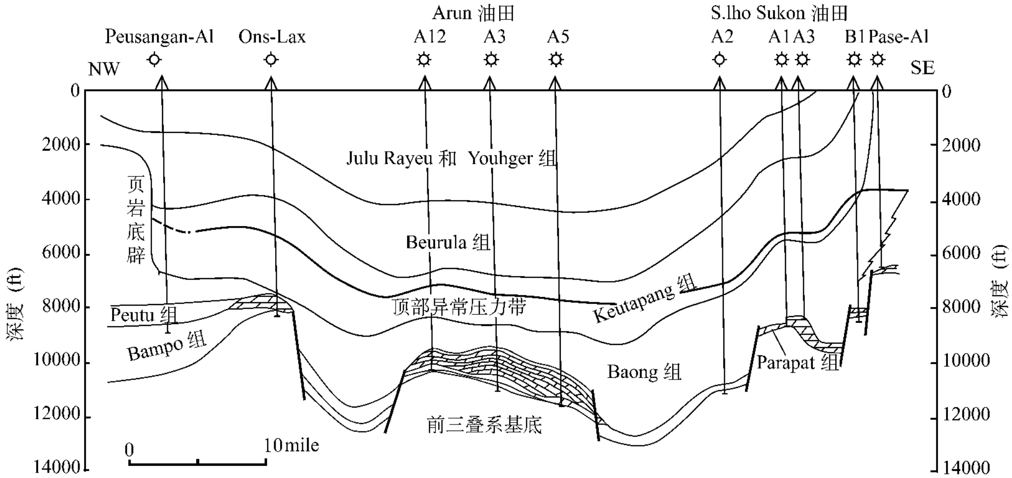


图 2—1—4 Arun 气田横剖面图（据 Aziz，Bolt，1984）

在印尼部分，地震勘探测线密度为 0.9 km²/km，预探井密度 255 km²/口。陆上与海上部分钻探成功率达 25%。截至 1991 年，海上与陆上已发现油气储量分别为 2 100×10⁴t 与 941×10⁸m³，2.93×10⁸t 和 6 019×10⁸m³。

在马来西亚部分，只钻了 5 口井，地震测线不足 1.14×10⁴km。

在泰国部分做了大量的地震，但只钻了 13 口井，无油气发现。

目前，该盆地的开发集中于印尼的陆上部分，还没有海上油田投入开采。自 1972 年以来，共钻了 608 口开发井。近期钻井活动集中于 Arun 气田，在 1989—1991 年期间所有 23 口完井全部在 Arun 气田。1991 年只在海上 Aby 油田打了 1 口开发井。

五、小结

（1）北苏门答腊盆地的演化可分为晚始新世的张扭期及其后早渐新世的反转期，此后该区遭受剥蚀；到晚渐新世的松弛、块断直至早中新世的挤压、抬升剥蚀期；早中新世至中中新世的相对静止期和晚中新世以后的后裂谷期。

（2）北苏门答腊盆地的地温梯度和热流值（98.2mW/m²）在与中苏门答腊盆地（136.7mW/m²）及南苏门答腊盆地（110.4mW/m²）相比时较低，但高于全球的平均地温梯度和热流值。

（3）本区在裂谷阶段火山活动不发育。

（4）在北苏门答腊盆地发育了 2 套主要的烃源岩，即中渐新世至早中新世沉积的 Bampo 组页岩和中至晚中新世沉积的 Baong 组页岩，后者比前者更为重要。

（5）尽管主要勘探目标为 Belumai 组和 Peutu 组的碳酸盐岩建造及 Keutapang 组砂岩，但整个第三系均含油气。在裂谷区及台地区烃类聚集的分布迥然不同：在 Pase 坳陷，天然气和凝析油只出现于与 Peutu 同时代的碳酸盐岩建造；而在台地区，油、气和凝析油储集于从 Belumai 组到 Julu Rayeu 组的碳酸盐岩和碎屑岩中。

（6）Baong 组的页岩为重要的区域性盖层，Peutu 组为碳酸盐岩建造提供侧向封堵。Keutapang 组页岩为本组砂体很好的局部盖层，并且在盆地的东部为 Belumai 组提供盖层，Seurula 组页岩为本组砂岩的局部盖层，在盆地西部，Bampo 组页岩为下伏 Parapat 组的盖

层。

（7）**下中新统至上新统储集层中均发现了油气，包括** Belumai、Peutu、Baong、Keutapang、Seurula **及** Julu Rayeu **等组，但最重要的含油气组合为中新统碳酸盐岩含油气组合和后** Baong **含油气组合**。

（8）**该盆地可划分出 3 个含油气系统，即** Bampo/**前** Baong **含油气系统**、Baong/**前** Baong **含油气系统和** Baong/**后** Baong **含油气系统**。

参考文献

Abdullah M, Jordan, C F. **1987.** The geology of the Arun Field Miocene reef complex. Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, Vol. **16, 65—96**

Cameron N R, Clarke M C G, Aldiss D T, *et al*. **1980.** The geological evolution of northern Sumatra. Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, Vol. **9, 149—188**

Davies P R. **1984.** Tertiary structural evolution and related hydrocarbon occurrence, North Sumatra Basin. Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, Vol. **13, 19—50**

Daly M, hooper B G D, Smith D G. **1987.** Tertiary plate tectonics and basin evolution in Indonesia. Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, Vol. **16, 399—428**

Daly M, Cooper M A, Wilson I, *et al*. **1991.** Cenozoic plate tectonics and basin evolution in Indonesia. Marine and Petroleum Geology, **8/1, 2—21**

Kingston J. **1978.** Oil and gas generation, accumulation and migration in the North Sumatra Basin. SEPEX Proceedings, IV, **158—182**

Kjellgren G M, Sugiharto H. **1989.** Oil geochemistry: a clue to the hydrocarbon history and prospectivity of the southeast North Sumatra Basin, Indonesia. Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, Vol. **18, 363—384**

Maliki M A, Soenarwi S. **1991.** South Lho Sukhon D1 discovery, North Sumatra. Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, Vol. **20, 235—254**

Mulhadiano, Sutinia J A. **1984.** The determination of economic basement rock formations in exploring the Langkat—Medan area, North Sumatra Basin. Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, Vol. **13, 75—108**

Nelson H F, Abdullah M, Jordan C, *et al*. **1983.** Carbonate petrology of Arun Field, Sumatra, Indonesia. AAPG Bull. **67 (3), 524—525**

Sosromihardjo S P C. **1988.** Structural analysis of the North Sumatra Basin—with emphasis on Synthetic Aperture Radar data. Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, Vol. **17, 187—210**

第二节　打拉根盆地

打拉根（Tarakan）**盆地是巽他地盾东缘 3 个第三系裂谷边缘沉积盆地最北边的一个，以望加锡**（Makassar）**海峡和西里伯斯**（Celebes）**海的西缘为界。该盆地位于印度尼西亚东加里曼丹**（Kalimantan）**省的东北部和马来西亚沙巴**（Sabah），**72%位于西里伯斯海。其**

南面的蓝卡利哈（Mangkalihat）山脉把它与库泰盆地分开，其北面，森普纳（Sempurna）隆起（分别构成蓝卡利哈半岛和森普纳半岛）将其与山打根（Sandakan）盆地分开，其西面，打拉根盆地第三系沉积物上超于 Rajang 复理石带（形成一地貌上的隆起称之为 Kuching 或 Sekatak Berau 山脉）的前第三系岩石之上，其东界位于西里伯斯海陆壳向洋壳的过渡带上（图 2—2—1）。打拉根盆地进一步分为 4 个坳陷：由北至南分别为 Tidung、打拉根、麻拉（Muara）和贝拉（Bera）坳陷（图 2—2—2）。除 Tidung 和贝拉坳陷被形成于始新世至晚中新世的 Sekatak 山脉（或 Sekatak 构造背斜）分开之外，每个坳陷未被明显的构造分开。盆地的总面积为 73 130 km²。

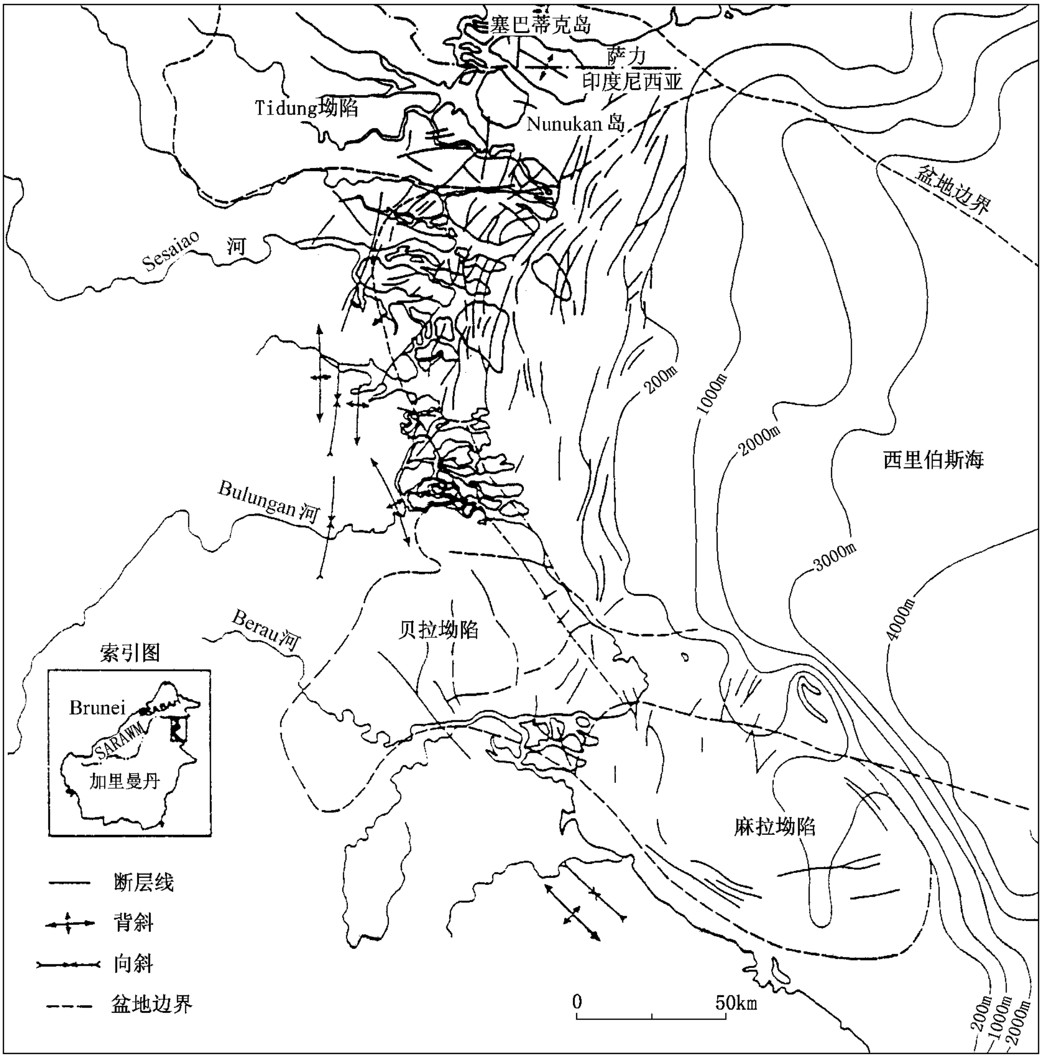


图 2—2—1　打拉根盆地构造纲要图（引自 Ray Shaw，Sarah—Jane Thompson，1993）

一、区域地质

1. 盆地演化

该盆地由于晚始新世婆罗洲（Borneo）从苏拉威西（Sulawesi）分离及望加锡海峡的张开导致裂陷；裂陷作用形成了一系列沿婆罗洲东缘分布的东西向箕状断陷，这些箕状断陷最

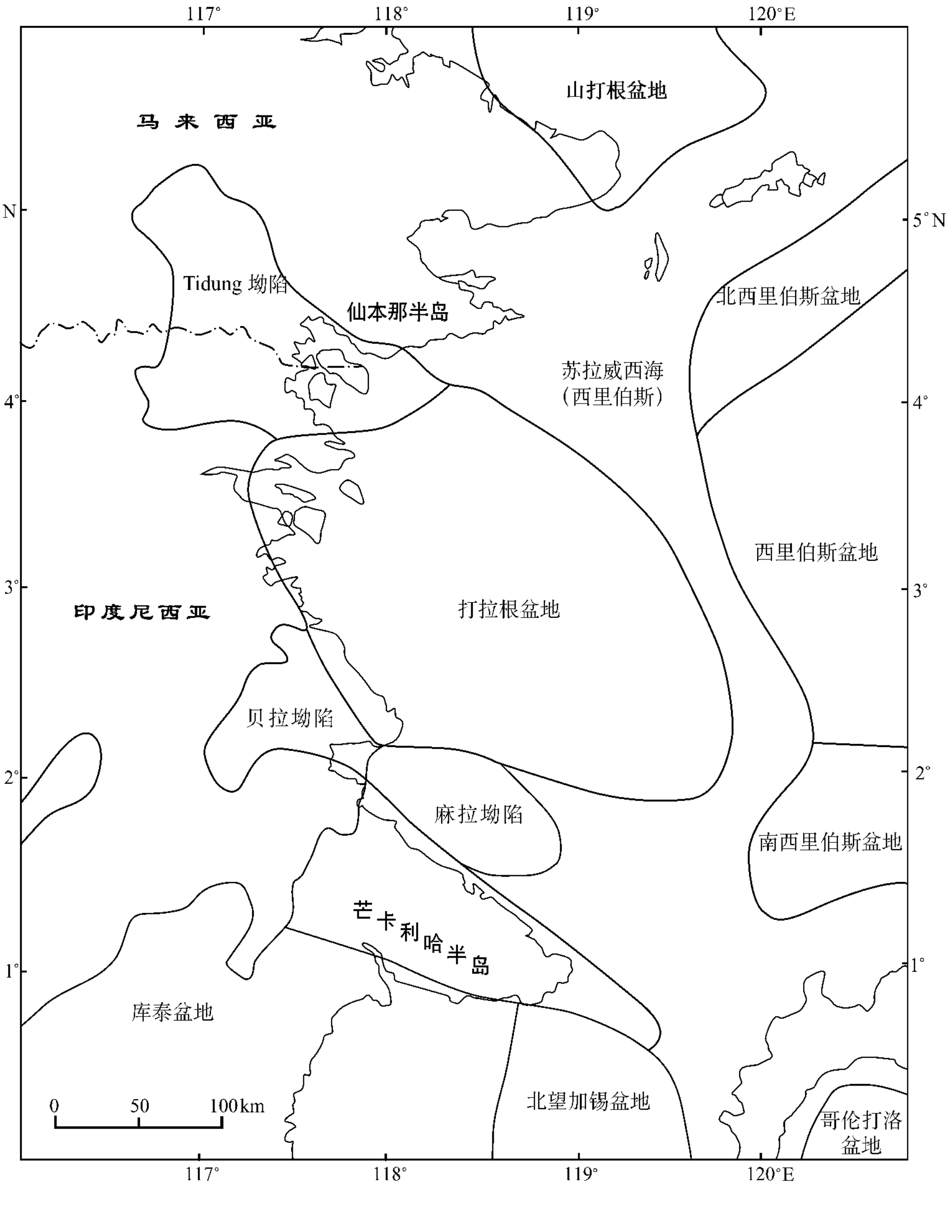


图 2—2—2　打拉根盆地位置图（**引自** Ray Shaw，Sarah—Jane Thompson，**1993**）

初被来自于原地的碎屑物质和火山碎屑沉积物所充填。在盆地北部的断陷充填物随后被三角洲沉积物所覆盖，而南部则被碳酸盐岩和碎屑岩的混合物所覆盖。盆地反转及构造形成于早上新世。打拉根盆地的勘探层可分为 5 个构造地层单元或旋回（图 2—2—3），这些单元被不整合面分开，而这些不整合面又代表着抬升与剥蚀（表 2—2—1）。

1）基底

打拉根盆地的基底包括前第三系 Danau **组的变质沉积岩以及古新统至始新统** Sembakung **组的碎屑岩和火山碎屑岩。**Danau **包括变质和遭受强烈构造作用的沉积岩，其年代可追溯到石炭纪—二叠纪，其中已识别出遭受强烈剪切作用的蛇绿岩化的超镁铁岩、燧石及**

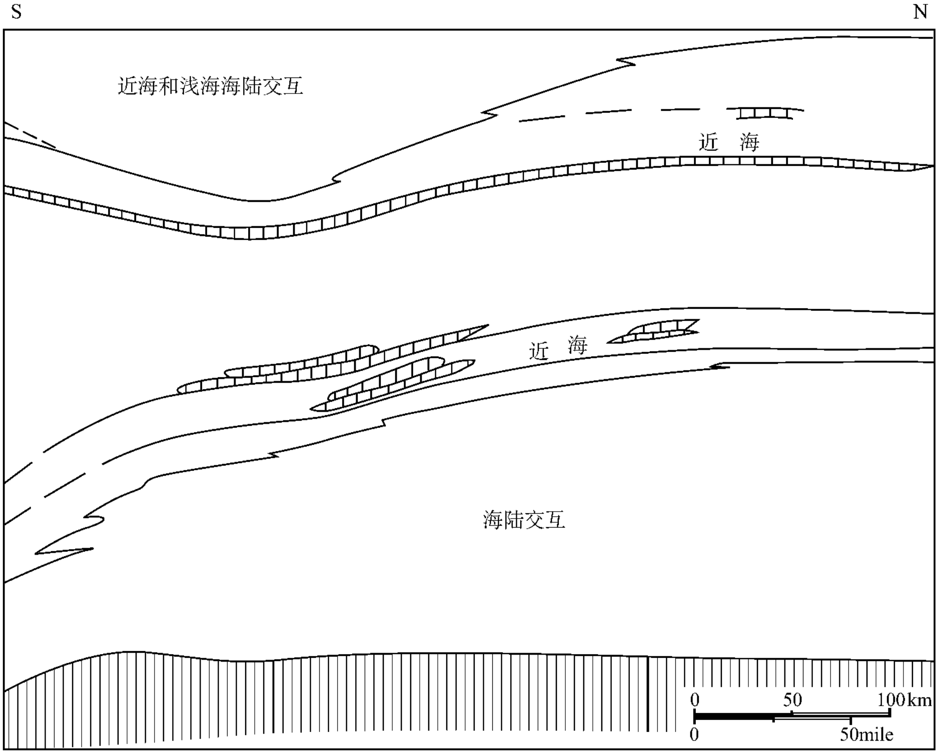


图 2—2—3 打拉根盆地地层剖面图（据 Weeda 等，1955 年修改）

红色页岩。Sembakung 组不整合于 Danau 组之上，为一套陆相到海相的海侵碎屑岩夹火山碎屑岩和煤层的序列。这一时期因中—晚始新世的抬升和伴随着广泛的剥蚀而结束。

2）旋回 1：晚始新世的裂陷及晚始新世至渐新世的海侵（38—26 *Ma*）

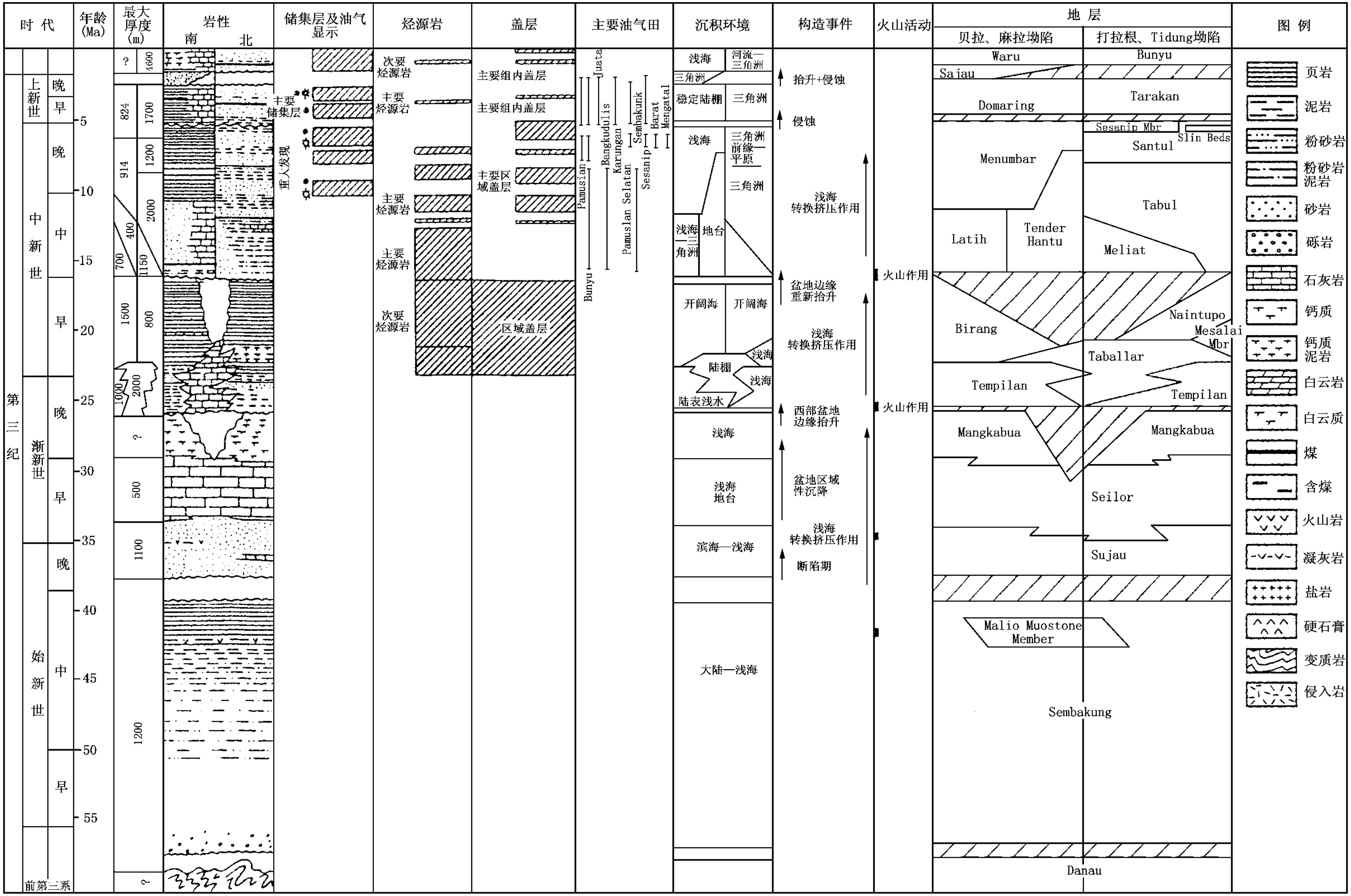
晚始新世时，沿太平洋边缘的弧后扩张及随后发生于望加锡海峡的裂陷作用在婆罗洲的东缘形成了一系列东西向的箕状断陷。应力形式为东西向张应力，该应力导致了构造方向为南北向的地垒和地堑的形成，并稍微转变为弓形，反映了盆地边缘的轮廓。有的断层为同沉积生长断层，箕状断陷最初被来源于原地的碎屑和火山碎屑物充填，形成 Sujau 组，向上过渡为 Seilor 组的潮下微晶碳酸盐岩。进一步的海侵导致了随后的泥灰岩和页岩（Mangkabua 组）的沉积，Mangkabua 组的岩石在晚渐新世大部分剥蚀。旋回 1 以盆地范围内的不整面而标志结束，这是一次全球范围的海平面下降所致，此时盆地的西部边缘（Kuching 凸起）开始抬升，使盆地逐渐向东翘倾并可能持续至今。

3）旋回 2：晚渐新世至早中新世的沉降和沉积（26—16.5 *Ma*）

打拉根盆地再次开始沉降，于是沉积了一套砂岩、页岩和凝灰岩互层夹煤线的地层（Tempilan 组），并不整合于旋回 1 之上。随着台地环境的进一步稳定，沉积了 Taballar 组的浅海相石灰岩、环礁、块礁和塔礁。这些岩石向盆地方向相变为泥灰岩、微晶灰岩和钙质浊积岩，向上相变为开阔海页岩和泥岩（在 Tidung 和打拉根坳陷称为 Naintupo 组，在贝拉和麻拉坳陷称为 Birang 组）。

该旋回是在早中新世晚期至中中新世的一次海退时结束的，在盆地的西部发生了抬升和

表 2—2—1 打拉根盆地综合地层（引自 Ray Shaw，Sarah－Jane Thompson，1993）



火山活动。

4）旋回 3：中—晚中新世的沉降和三角洲沉积（海退）（16.5—6.6 *Ma*）

旋回 2 的结束和旋回 3 的开始是以盆地西缘的张性正断层活动、抬升和火山活动为标志，在此刻，就盆地充填沉积特点而言，该盆地可进一步分为两部分：北区（打拉根和 Tidung 坳陷）和南区（贝拉和麻拉坳陷）。盆地西缘的再次抬升产生了新的碎屑岩沉积样式，而在盆地以后演化的大部分时间里，盆地北区主要发育了向东进积的三角洲体系。盆地北部旋回 3 的沉积是以 Meliat 组开始的，该组不整合于 Naintupo 组之上。在西部由浅海至三角洲相的砂岩、页岩和煤组成，向东相变为深海和前三角洲页岩。上覆的 Tabul 和 Santul 组仍以三角洲沉积为特征，有远景的 Sesanip 段（Santul 组）为三角洲前缘和三角洲平原沉积。在盆地南部，河流—三角洲砂岩、页岩和煤层（Latih 组）不整合于旋回 2 的 Birang 组之上。这些岩石向上和盆地方向相变为 Menumbar 组的开阔海页岩、泥灰岩和微晶灰岩。旋回 3 以晚中新世/早上新世的反转期而结束，该反转可能导致了贝拉坳陷 Menumbar 组大部分被剥蚀。

5）旋回 4：上新世三角洲沉积及其后的盆地反转（6.6—2.8 *Ma*）

由于微型陆块与苏拉咸西的向北碰撞，使打拉根盆地在早上新世发生了构造反转，于是，这一碰撞挤压作用导致了北北西向剪切带在南苏拉咸西和东加里曼丹发育，并使打拉根盆地发生褶皱。一些在盆地形成时形成的犁式张性断层在此时明显激活，或呈正断层或呈逆断层。

在盆地北部的隆起为三角洲沉积提供了物源，从而形成了打拉根组。在南部，环境依然平静；由于缺乏碎屑物质的注入，于是在西部沉积了 Domaring 组的陆棚灰岩，向东相变为浅海相泥灰岩和页岩。

6）旋回 5：更新世至今（2.8—0 *Ma*）

在一次全球性的海平面上升之后，上新世三角洲向西迁移；在盆地的北部，于河流至上三角洲平原环境沉积了 Bunyu 组的砂岩、页岩和褐煤，而在盆地南部沉积了 Waru 组浅海相灰岩和泥灰岩。

2. 地层简介

打拉根盆地发育的地层见表 2—2—1。

（1）中、下始新统 Sembakung 组：不整合于 Danau 组之上，为一套陆相至海相的海侵碎屑岩夹火山碎屑岩和煤层的地层。

（2）上始新统 Sujau 组：为一套沉积于海陆交互相至海相的碎屑岩和火山碎屑岩地层，厚约 1100 m。

（3）下渐新统 Seilor 组：为台地相和潮下微晶碳酸盐岩，厚约 500 m。

（4）上渐新统 Mangkabua 组：由海相泥灰岩和页岩组成。

（5）上渐新统 Tempilan 组：为一套陆相至浅海相的砂岩、页岩和凝灰岩互层夹煤线的地层。

（6）上渐新统至下中新统 Taballar 组：由浅海相石灰岩、环礁、块礁和塔礁组成，向盆地方向相变为泥灰岩、微晶灰岩和钙质浊积岩。

（7）下中新统 Naintupo 组（在贝拉和麻拉坳陷称为 Birang 组）：为开阔海页岩和泥岩。

（8）中中新统 Meliat 组（盆地北部）：该组不整合于 Naintupo 组之上。在盆地西部由浅海到三角洲砂岩、页岩和煤组成，向东相变为深海相和前三角洲相页岩。在盆地南部称为 Latih 组，不整合于旋回 2 的 Birang 组之上，为一套河流—三角洲相砂岩、页岩和煤层，向

上和盆地方向相变为 Menumbar 组（相当于 Tabul 组和 Santul 组）的开阔海页岩、泥灰岩和微晶灰岩。

（9）中中新统至上中新统 Tabul 组：为三角洲相碎屑岩沉积。

（10）上中新统 Santul 组：为三角洲相碎屑岩沉积。

（11）上新统打拉根组（盆地北部）：河流—三角洲相碎屑岩沉积，在南区西部称为 Domaring 组，为陆棚碳酸盐岩，向东相变为浅海相泥灰岩和页岩。

（12）第四系 Bunyu 组（北部）：为河流至上三角洲环境的砂岩、页岩和褐煤。而在南部称为 Waru 组，为浅海相的石灰岩和泥灰岩。

二、大地热流

无系统的地热资料。

三、火山活动

早中新世晚期至中中新世在盆地的西部发生了抬升和火山活动。

四、含油气性

1. 烃源岩

含陆源干酪根的河流—三角洲沉积是东南亚许多盆地中等密度、蜡质原油的主要烃源岩。在打拉根盆地，厚层中中新统和上新统三角洲相的煤和页岩已证实为烃源岩，盆地海上的局限边缘海环境中也有潜在的烃源岩。

地球化学分析表明打拉根坳陷中的油气仅来自一种类型的烃源岩，由于有几个组含有可能的烃源岩，因此，推测所有这些烃源岩层含相似的有机质并沉积于相似的环境。

在打拉根盆地识别出的烃源岩的基本岩性为 Bunyu 组、打拉根组、Tabul 组和 Meliat 组的煤，其生烃潜力从一般到好，Bunyu 组和打拉根组的平均有机碳含量为 23%，Tabul 组为 10%，Meliat 组为 2%。打拉根组和 Bunyu 组干酪根为腐殖型（木质碎屑），而在 Tabul 组和 Meliat 组的烃源岩中腐泥型有机质含量增加，在一些地区，Meliat 组上部的煤层含高达 30%的腐泥型干酪根，而 Tabul 组的煤层含量高达 40%。

由于快速埋藏和高地温梯度，甚至第四系烃源岩在某些地区（如打拉根岛东部）都已成熟，打拉根（打拉根和 Bunyu 岛）的油田有烃类成熟资料，在该区大多数的产油气田都已确定。假设 Bunyu 岛的现地温梯度代表新近纪的地温梯度，那么可以把烃源岩的成熟度和烃类生成与储集层的埋深联系起来。然而，如果有抬升发生的话，这就不太可能是一种合理的假设。

最近从 Bunyu 岛钻井的地球化学研究所获得的孢粉颜色指数（*SCI*）、热蚀变指数（*TAI*）和镜质组反射率资料均表明生油窗的顶部（生油成熟的深度）位于 1 100～1 900 m 之间。生油窗的顶部从 Bunyu 向西北到 Bunyu Tapa 逐渐升高。

在 Bunyu 岛，理论上生烃带的顶部埋深约在 800 m，温度为 60℃（Samuel，1980）。浅层气可能是生物成因气或是近期抬升之前生成的，该抬升使厚约 500 m 的上覆沉积物遭受剥蚀。初始生烃带（60～83℃）的埋深为 800～1 350 m，在这一深度范围内 Bunyu 储集层中含气和重质油。主要生油窗（83～127℃）的埋深为 1 350～2 500 m，与 Bunyu 岛大多数井的生油段相吻合；天然气和凝析油存在于 2 500～3 400 m 的深度范围，它对应于高度成熟的生气带（127～160℃），而在 3 400 m 之下只可能有热成熟气。

原油的成分表明在 Bunyu 油田发生过水洗蚀变作用，在 Bunyu Tapa 因分馏而发生过蚀变。在贝拉和麻拉坳陷，尽管 Birang 和 Menumbar 组的页岩和 Latih 组的煤具有生烃潜力，

但还没有识别出确定的烃源岩。在 Tidung 和打拉根坳陷，Naintupo 组的前三角洲和盆地边缘相页岩可能还具有生烃潜力。

2. 储集层

打拉根盆地所有主要的油气聚集都分布于旋回 3 和 4（中中新统至上新统）的碎屑岩储集层之中，在这 2 个旋回中，近盆地 75%的油气储存于打拉根组的砂岩中，而 Tabul 组和 Santul 组各占 12.5%。

打拉根组的储集层一般由河道和沙坝沉积的透镜状砂岩和含砾砂岩组成，并在垂向上相互叠置，通常与泥岩、砂质泥岩和褐煤互层，单个砂体的厚度从 1 m 到 22 m 不等。在一些新油田（Pamusian、Selatan、Mamburungan、Bunyu、Bunyu Nibung 油田），有些储集层连续延伸的范围超过油田的宽度，这些席状砂体可能代表横向迁移的沙坝或复合河道。储集物性一般较好，泥质含量低，孔隙度在 20%～32%之间，渗透率可高达 $1\ 000\times10^{-3}\mu m^2$。

Santul 组的储集层主要为沉积于三角洲平原至三角洲前缘的分流河道、河口沙坝及潮汐沙坝，砂层厚度一般为 2～25 m，延伸范围达整个油田。该组上部的勘探层称为 Sesanip 段，由河口沙坝和潮汐沙坝组成，Sesanip 段储集层的孔隙度为 24%～27%。在 Tidung 和打拉根坳陷，中中新统 Tabul 组也发育有储集层，其河口沙坝和潮汐沙坝的厚度一般小于 10 m，平均孔隙度为 21%，渗透率为（30～900）$\times10^{-3}\mu m^2$。表 2—2—2 为该盆地各组的油气含量。

表 2—2—2　打拉根盆地各组的油气含量

时代（组）	中中新世（Tabul 组）	晚中新世（Santul 组）	上新世（打拉根组）
含油气量	油 29×10^6bbl，气 $34\ 510\times10^8$ft^3	油 45×10^6bbl，气 $25\ 410\times10^8$ft^3	油 351×10^6bbl，气 $105\ 810\times10^8$ft^3

3. 盖层

打拉根、Santul 和 Tabul 组储集层的主要盖层为其组内的页岩和煤层，在打拉根岛，打拉根组内的所有产层均位于煤层之下，因此，煤层底部的泥岩为有效盖层。尽管尚未在贝拉和麻拉坳陷发现油藏，但下中新统 Birang 组的页岩能为 Birang 组和 Tempilan 组中的砂岩储集层及下伏 Taballar 组的石灰岩提供盖层。尽管裂缝可能破坏了某些地区盖层的完整性，但在 Taballar/Seilor 组内仍有组内盖层存在。

4. 油气生成与运移

在打拉根和 Bunyu 岛，有些油藏的成熟度比生油所需的成熟度低，这表明成熟烃源岩的油气运移已在别处发生。Samuel（1980）认为 Bunyu 岛上的油气运移很局限，并且许多产油段目前的确处在生油窗的生油高峰范围。在 Bunyu 岛和打拉根岛，运移可能发生于更新世和近代，即在上新世的抬升、褶皱和断裂之后。第四系的隆起对周围地区的油气运移产生了影响，因为运移通道发育于上倾方向，并以这些岛屿为中心。尽管在叠置的储集层中侧向运移很有意义，但众多的组内盖层在远离主断裂的地区会阻止油气的垂向运移。陆上的运移通道可能为裂缝和断裂，尤其是在褶皱的顶部。

在海上部分，探井在生油窗顶之上未发现油气显示，这表明众多的组内盖层阻止了油气的垂向运移。

5. 主要含油气组合

在打拉根盆地有 3 个有意义的勘探层（含油气组合）：打拉根坳陷的打拉根组、Santul 组三角洲含油气组合，以及 Tidung 坳陷、打拉根坳陷的 Tabul 组，三角洲含油气组合。

1）含油气组合类型

（1）打拉根组三角洲含油气组合。打拉根三角洲含油气组合是该盆地到目前为止最成功和产能最好的含油气组合，打拉根组的三角洲砂岩在 18 个盆地和发现中储集了该盆地 75％的油气，在陆上该组处于勘探成熟阶段。页岩、煤层及煤层下面的页岩为组内盖层。

尽管在几个油田中打拉根组含油气组合为构造—地层型，但仍以构造油气藏为主；构造形成于上新世至更新世的挤压应力场，在 Nunyu 和打拉根岛，可能是与深部底辟作用有关的更新世抬升改造了已存在的构造。

在 16 个油田中发现具有打拉根组三角洲构造油气藏，它储集了该盆地 83％的石油储量、2％的凝析油和 51％的气，这些构造包括穹窿、长条形背斜及断层圈闭，后者的储集砂岩被正断层和陡的逆断层切割。Pamusian Selatan 为一倾没鼻状背斜上的断层圈闭。只在 2 个油田中发现了打拉根组三角洲构造—地层油气藏，它储集的石油不到该盆地油储量的 1％，而气则占 13％。圈闭由断层切割的背斜和透镜状砂岩尖灭构成。

（2）Santul 三角洲含油气组合。在 13 个油田/发现中见到了 Santul 三角洲含油气组合，它储集了该盆地 12.5％的油气，其储集层为 Santul 组砂岩，盖层为页岩夹层。该含油气组合包括构造和构造—地层型油气藏，尽管不整合之前褶皱的幅度不大，但大多数 Santul 构造形成于中新世之后的区域性挤压和抬升过程中，这表明这一勘探层在构造上的不连续性。

在 11 个油田/发现中发现了 Santul 三角洲构造油气藏，它储集了该盆地 9％的油储量、10％的凝析油和 13％的气，构造为典型的断背斜或断块。在 2 个油田中发现 Santul 三角洲构造—地层型油气藏，储集了该盆地 1％的油储量、83％的凝析油和 2％的气，圈闭由断背斜和砂岩尖灭构成。

（3）Tabul 三角洲含油气组合。在 15 个油田/发现中的 Tabul 三角洲含油气组合储集了该盆地 12.5％的油气，Tabul 组的组内盖层就足以阻止 Tabul 聚集中烃类的垂向运移，如在 Sembakung 油田，中新统 Tabul 组内多层砂岩叠置在一起。Tabul 组的构造可能形成于中新世之后的区域性挤压、抬升过程中，并被后期的正断层作用所改造。

在 13 个油田中见到了 Tabul 三角洲构造油气藏，它储集了该盆地 7％的油、4％的凝析油和 19％的气。在 2 个油田中发现了 Tabul 三角洲构造—地层油气藏，它储集了该盆地不到 1％的油和 2％的气。

2）含油气组合分布

打拉根组的产油气层主要分布于打拉根坳陷的打拉根岛和 Bunyu 岛，在 Bulungan 三角洲的 Makapan－1 油田，打拉根组也具有产气和产凝析油的能力。许多打拉根组的油田都是在地震勘探之前发现的，其方法主要是通过地面地质填图、矿井填图和油气苗追踪。

Santul 组三角洲油藏也分布于打拉根岛和 Bunyu 岛，有好几个 Santul 油田位于打拉根组之下，并且是通过在已发现的打拉根组油田中加深钻探所发现的。Tabul 组储集层分布于 Kayan 和 Sesayap 河三角洲打拉根岛北面和南面的陆上沿岸地区，Bunyu 岛东面和北面的海区及 Bunyu 岛上。

3）封闭时间

打拉根组储集层在其沉积后不久便被上覆的页岩和煤层所封闭，在某些油田煤层下面发育的底粘土为烃类运移提供必要的渗透性遮挡。Santul 组和 Tabul 组储集层也在其沉积后不久就被上覆页岩和煤层所封闭。

4）影响油气有效圈闭的因素

（1）油气生成：由于快速埋藏和高地温梯度，许多地区的烃源岩很快就达到成熟，一般在几个百万年。中中新统的烃源岩在中新世结束之前就开始生烃且可能持续至今，这取决于地质时期中沉降和抬升的相对变化。

（2）圈闭形成：构造圈闭为盆地的主要圈闭类型，其形成可追溯到早上新世开始的挤压、盆地反转期，并在整个上新世和更新世继续抬升。

（3）最早封闭：大多数储集层为组内或沉积后不久的盖层所封闭；因此，Santul 组和 Tabul 组储集层在中至晚中新世被封闭，而打拉根组储集层则在上新世被封闭。

所以，烃类生成开始于圈闭形成与最早的封闭之间，甚至早于一些最重要的储集层沉积之前；因此，早期生成的石油一定逸失了，后来的逸失可通过大量的油气苗得到证实。

6. 含油气系统

打拉根盆地已发现的烃类为来源于多套烃源岩的同一种油气，这些烃源岩含有类似的陆源干酪根。它们沉积于中中新世至第四纪的沼泽和河流—三角洲环境，并被快速埋藏并在高地温梯度地区遭受早期有机成岩作用。连续性较好的透镜状砂层不仅提供了储集层，而且提供了运移通道，后来切割准穹窿和长条状背斜的陡正断层也成为油气运移的通道。页岩、泥岩和泥灰岩提供了有效的组内盖层，这些页岩、泥岩和泥灰岩在第三系和第四系中广泛发育。因此该盆地只有一个有效的含油气系统，其持续时间为中中新世至近代（16.3 Ma）。

7. 油气储量及丰度

根据 1992 年底对打拉根盆地所有油气田和发现的统计，其最终储量为油 419.4×10^6 bbl、凝析油 5.97×10^6 bbl、气 $16\ 571\times10^8$ ft^3（约 600×10^8 m^3），含油气丰度见表 2—2—3。

表 2—2—3　打拉根盆地油气丰度（1992）

类　型	油和凝析油	气	总　量
油气丰度	6 336bbl/km^2	24.5×10^6 ft^3/km^2	10 407bbl（油当量）/km^2

8. 主要圈闭类型

打拉根盆地以构造圈闭为主，包括背斜、断背斜和断块，其次为构造（断背斜）—地层（砂岩尖灭）圈闭（图 2—2—4、图 2—2—5、图 2—2—6）。

9. 油气田分布

目前发现的油气田主要分布于打拉根坳陷和 Tidung 坳陷。

10. 大油气田和典型油气田（藏）

到目前为止在打拉根盆地发现的油气田都不大，稍大的有几个，见表 2—2—4。

表 2—2—4　打拉根盆地较大油气田

油　气　田	油（10^6bbl）	凝析油（10^6bbl）	气（10^8 ft^3）
Bunyu	140	0	3 500
Bunyu Sei Payai	0	0	2 000
Pamusian	200.1	0	960
Bunyu Teritip	0	0	1 000
Bunyu Tapa	3.0	5.0	2 250

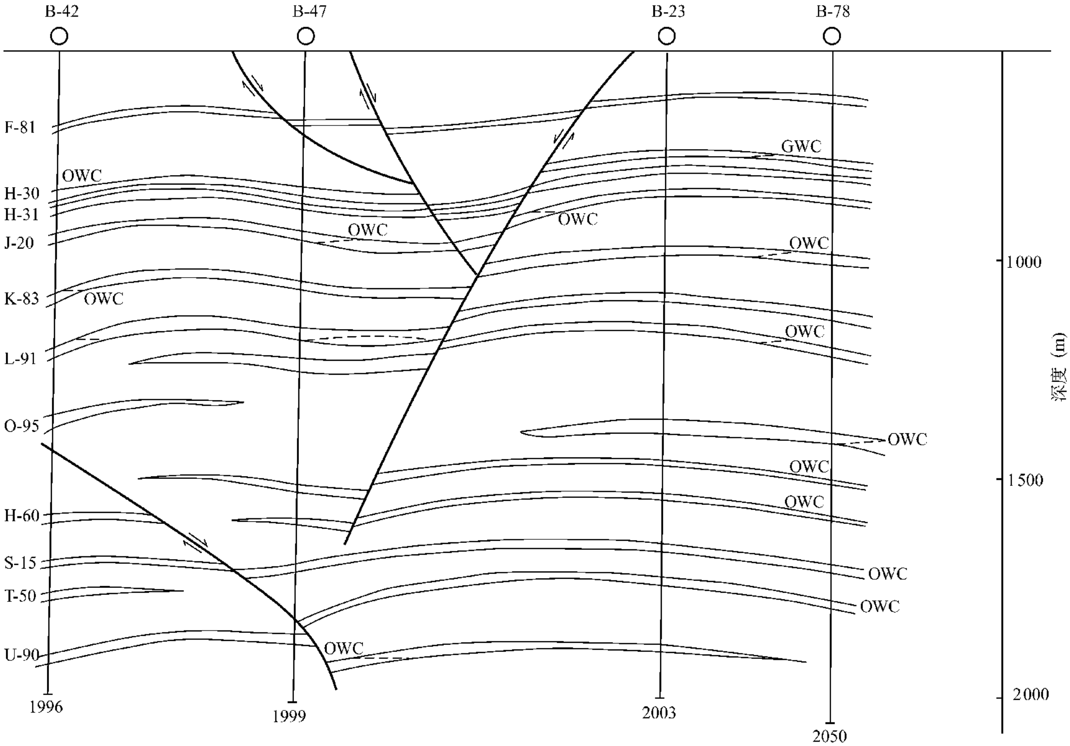


图 2—2—4　Bunyu 岛油田剖面图（据 IPA，1991 年修改）
OWC—油水界面；GWC—气水界面

累　　计	343.1	5.0	9 710.0
占总储量百分比	82%	84%	58.6%

打拉根盆地典型油气田当数 Bunyu 油田，其油储量为 140×10^6 bbl（约 20×10^6 t），气储量为 3 500×10^8 ft^3，为该盆地较大的油气田，为一个构造型油气藏（图 2—2—4、图 2—2—5）。其产层包括 Talakan 组、Santul 组和 Tabul 组的三角洲相砂岩。这些储集层的孔、渗性都比较好。构造主要是早上新世至更新世形成的背斜。

11. 勘探开发历程及现状

20 世纪初，打拉根盆地的印度尼西亚部分就被允许勘探开发，BPM 公司最早获得了在本区作业的权利。随着石油利润分成协议在 20 世纪 60 年代达成，其他一些公司诸如 Arco、Chevron 和 Texaco 公司相继进入盆地作业。目前在该区陆上有 3 个作业队，海上有 2 个，在总面积 29 691 km^2 的地区进行勘探开发。

在马来西亚部分近年来有 2 个作业队允许作业：Teiseki（1968—1977 年）和 Sun（1998 年至今）。Sun 的作业范围覆盖了整个盆地，并延伸到盆地界限之外。

印度尼西亚部分的陆上地震勘探较成熟，共采集了约 13 100 km 的地震资料。第 1 口油井钻于 1900 年，之后打了 50 多口预探井，其中 28 口井见到油气，获得了可采石油储量 5 822×10^4 t、天然气 435×10^8 m^3。最近在 Bungu 岛上发现了天然气。海上地区共有 12 200 km 地震资料，大部分集中在大陆架地区，向西里伯斯海深水区稍有延伸，钻井 20 口，其

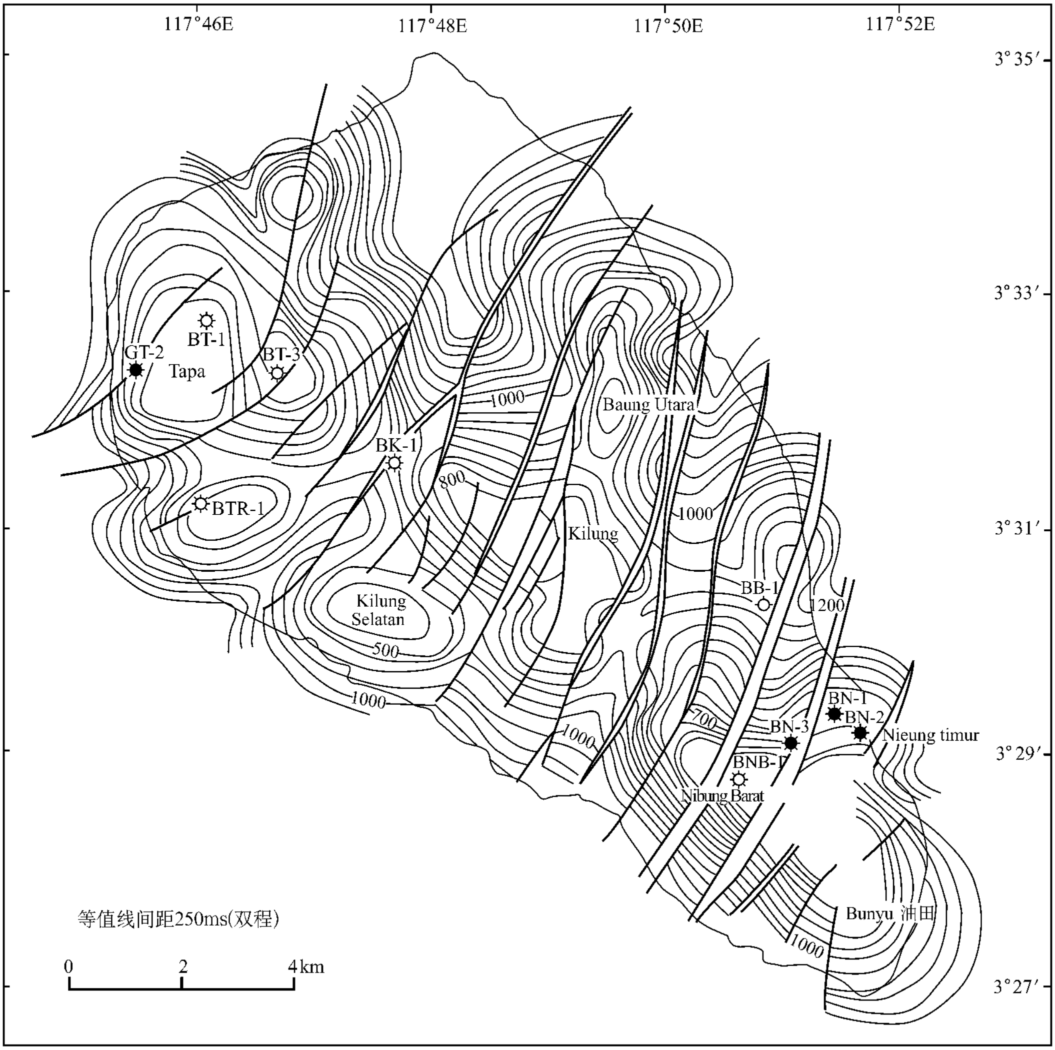


图 2—2—5　Bunyu 油田 Tabul 组顶面构造（据 Samuel，1980，修改）

中 4 口获得成功，均为气井，可采储量 34×10⁸ m³。

马来西亚部分地表条件差，地震资料很少，但在海上的一小部分地区，地震资料较多。共钻了 12 口井，其中 5 口井在陆上，7 口井在海上，均未见油气。

盆地处于边远地区，区内沼泽纵横，热带雨林覆盖了山坡，勘探活动需直升飞机支持，需铺修道路。在沼泽区，钻井平台需特别加固。因此，陆上勘探成本中等—高。海上部分，离滨岸几十千米范围内，水深不大，在西利伯斯海陡然超过 5 000 m。

20 世纪 90 年代后，在印度尼西亚部分石油的勘探成功率下降，而天然气勘探则获得成功，这导致人们减少了石油勘探费用。盆地的马来西亚部分尚无发现。

打拉根盆地的石油生产始于 20 世纪初，估计累积产量约 4 110×10⁴ t，主要产自 Pamusian 和 Bunyu 油田。目前产量还正在递减，希望通过二次、三次采油技术结束这种局面。盆地的马来西亚部分没有任何发现及开发。

近来为了挖潜老油田，签订了一系列技术协议和提高石油采收率协议，其中包括对 Bu-

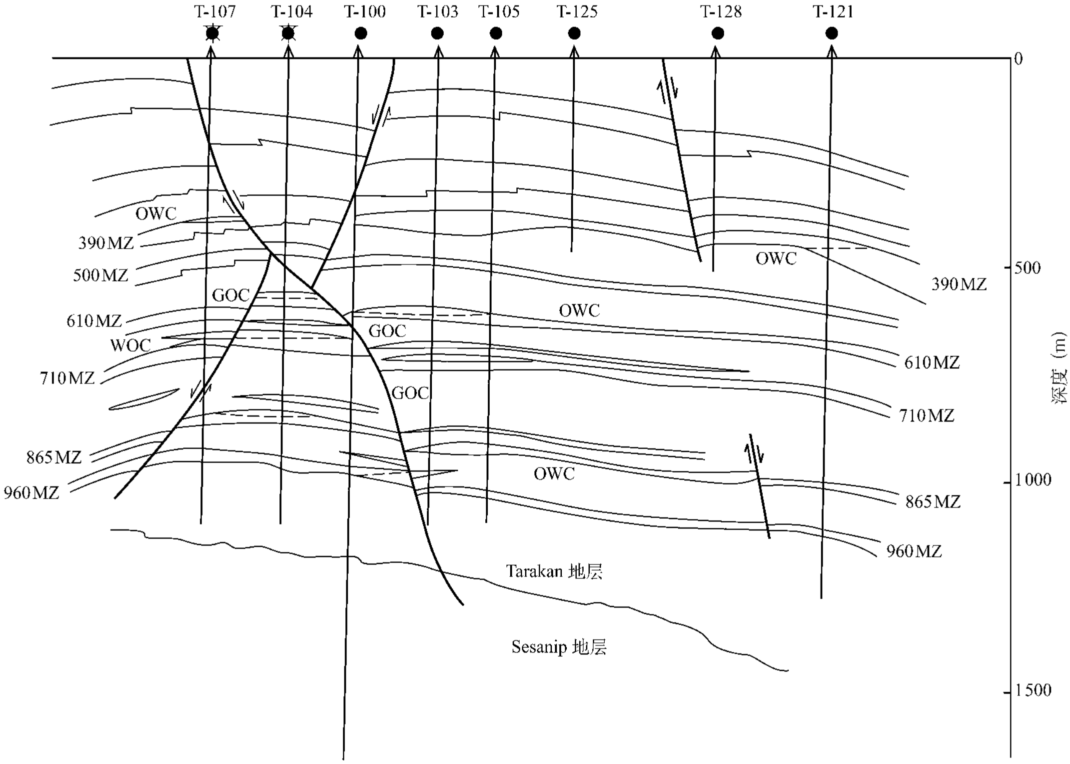


图 2—2—6　Juata 油田剖面图（据 IPA，1991 年修改）

OWC—油水界面；WOC—水油界面；GOC—气油界面

nyu 油田的二次开采。

1972 年以前，在 Pamusian 和 Bunyu 油田钻了约 1 073 口井，之后又钻了 243 口开发井，其中一小部分井分布在 Sembakung、Bunyu Nibung 和 Bunya Tapa 油田。金融体制建立在石油利润分成原则之上。

五、小结

（1）打拉根盆地演化经历了晚始新世至晚渐新世的裂谷阶段及其后的海侵，沉积了一套碎屑岩、火山碎屑岩及泥灰岩和页岩地层；晚渐新世至早中新世为盆地沉降阶段，下部沉积了一套砂岩、页岩和凝灰岩互层夹煤线的地层，中部为浅海相石灰岩及生物礁，上部为泥灰岩、微晶灰岩和钙质浊积岩，顶部为开阔海页岩和泥岩。中至晚中新世盆地经历了断裂、隆起和火山作用，并被分为沉积特征不同的两大部分：北部以三角洲沉积为主，而南部则以河流—三角洲为主；早上新世盆地北部经历了较强烈的构造运动，而南部较平静，沉积了一套陆棚灰岩及浅海相泥灰岩和页岩地层；随后发生了一次全球范围的海平面上升，北部以河流—三角洲沉积为主，南部为浅海相沉积。

（2）中中新世至上新世的厚层煤层和碳质页岩为已证实的烃源岩，其他层位也可能发育有烃源岩，但尚待进一步证实。

（3）中中新世至上新世沉积的三角洲砂岩是重要的储集层，且目前发现的产油层皆发育于该层位，而其上覆的页岩和泥岩为其良好的盖层。

（4）由于生油早于一些储集层和盖层的沉积，早期生成的石油可能逸失，同时后期的断裂和抬升也造成部分油气逸失。

打拉根盆地生、储、盖层的基本情况见表2—2—5。

表2—2—5　打拉根盆地生、储、盖层的基本特征

类　型	层　　位	岩　　性	时　　代
储集层	打拉根组	砂岩	上新世
	Tabul 组	砂岩	中中新世
	Santul 组	砂岩	晚中新世
烃源岩层	Bunyu 组	煤、碳质页岩	更新世
	打拉根组	炭、煤质页岩	上新世
	Tabul 组	页岩	中中新世
	Meliat 组	泥岩、煤	中中新世
盖层	Bunyu 组	页岩	更新世
	打拉根组	页岩	上新世
	Tabul 组	页岩	中中新世

（5）盆地的圈闭类型主要为构造型（背斜、断背斜和断块），绝大多数油气储集于这类圈闭；其次为构造（断背斜）—地层（砂岩尖灭）型。

（6）目前发现的油气田主要分布于打拉根和 Tidung 坳陷，打拉根盆地中油气的分布主要决定于下列因素的综合作用：①数个层位以生油为主的烃源岩沉积；②生、储、盖层相邻；③快速埋藏和高地温梯度使烃源岩很快成熟并生烃；④各组发育的盖层为各主要储集层提供了有效封闭；⑤活跃的大地构造运动在短短的16 Ma时间内形成了整个含油气系统；⑥早期的勘探并非依靠地震，而是依据地质填图和油气苗的追踪。

参 考 文 献

饶春涛，黄仙英．1994. 东南亚地区油气勘探和开发现状及其油气地质条件

Dal M C, Hooper B G D, Smith D G. 1987. Tertiary plate tectonics and basin evolution in Indonesia. Proceedings of the 16th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association, 399—428

DeMaison G J, Moore G T. 1980. Anoxic environments and oil source bed genesis. AAPG. Bull. Vol. 64, 1179—1209

Hartono H M S. 1984. Tectonic development of Kalimantan and adjacent areas. Bulletin of the Geol. Res. and Dev. Center, No. 9, 1—13

Hutchison C S. 1989. Geological evolution of Southeast Asia. Clarendon Press, Oxford

Heiyanto N, Satoto W, Sardjono S. 1992. An overview of hydrocarbon maturity and its migration aspects in Bunyu Island, Tarakan Basin. Proceedings of the 21th Annual Convention of the Indonesian Petroleum association, Vol. I, 1—22

Indonisian petroleum association. 1991. Oil and Gas Fields Atlas, Vol. V, Kalimantan. S. Courteney and S. K. Wiman, ed. I. P. A., Jakarta

Soetomo J A, Santoso B. 1985. The contribution of simple seismic modeling for reef

distribution mapping. Proceedings of the 14th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association, Vol. II, 407

Samuel L. 1980. Relation of depth to hydrocarbon distribution in Bunyu Island, NE Kalimantan. Proceedings of the 9th Annual Convention of the Indonesian Petroleum association, Vol. II, 417－432

Sunaryo Martodjojo R S, Wahab A. 1988. Detailed geological evaluation of the possible hydrocarbon prospects in the Bungalun area, East Kalimantan. Proceedings of the 17th Annual Convention of the Indonesian Petroleum association, Vol. I, 423－446

Van de Weerd A A, Armin R A. 1992. Origin and evolution of the Tertiary hydrocarbon－bearing basins in Kalimantan (Borneo), Indonesia. AAPG Bull. Vol. 76, No. 11, 1778－1803

第三节　库泰盆地

库泰（Kutei）盆地位于印度尼西亚加里曼丹婆罗洲（Borneo）岛的东部，包括望加锡海峡之下的滨外地区，面积约178 740 km²。其中67％在陆上，33％在海上。盆地北部以Mankalihat山脉为界，将其与打拉根盆地相隔。盆地向东延伸到望加锡盆地北部。南与Paternoster陆架相连，Paternoster断层将其与默拉图斯（Meratus）山脉分开。盆地西北以Kuching凸起为界；在西面，中加里曼丹群岛将其与Melawi盆地分开；盆地西南以Schwan隆起为界（图2－3－1）。

一、区域地质

1. 盆地演化

库泰盆地的演化可分为3个主要阶段：前裂谷基底形成阶段；早始新世至早渐新世为裂谷演化阶段；早渐新世至今为挤压阶段。不同的演化阶段发育了不同的构造—地层单元，裂谷发展期主要为浅海相沉积，后裂谷期以三角洲沉积为主（图2－3－2、图2－3－3，表2－3－1）。盆地基底为前第三系的沉积岩、变质岩和岩浆岩。

1）裂谷前基底形成期

库泰盆地西侧和南侧的基底是巽他克拉通大陆基底的一部分，由变质岩、沉积岩、火山岩和花岗岩、辉长岩及花岗岩侵入体等组成，系石炭纪—二叠纪至白垩纪的产物。

盆地北侧基底为与中婆罗洲造山带有关的造山带复合体的一部分，它由白垩系至中始新统的燧石、玄武岩、浊积岩、不稳定陆架沉积及破碎的镁铁岩和超镁铁岩组成。

2）同生裂谷及坳陷期：早始新世至早渐新世（56.6—29.3 *Ma*）

始新世早期，在太平洋、澳洲—印度和东南亚板块聚敛的影响下，东巽他大陆分裂，在前第三系巽他克拉通内部或其附近形成了裂谷型库泰盆地。下始新世至中始新世为盆地的拉张期（56.5—38.6 Ma）；上始新世至下渐新世为重力沉降阶段（38.6—29.3 Ma）。基底的块断作用发于上始新世之前，盆地的沉降可能与婆罗洲台地西北部的消减有关。始新世和渐新世时期，库泰盆地向西南通过Melawei盆地与南中国海相连，通过巴里托（Barito）台地和Paternoster陆架与原始爪哇海相连。

始新世时在库泰盆地的西部曾有火山活动发生和基性侵入岩体的侵位。盆地沉降初期为陆相环境，在其底部沉积了底砾岩和砾状砂岩；随着盆地的快速沉降，沉积环境转变为滨海

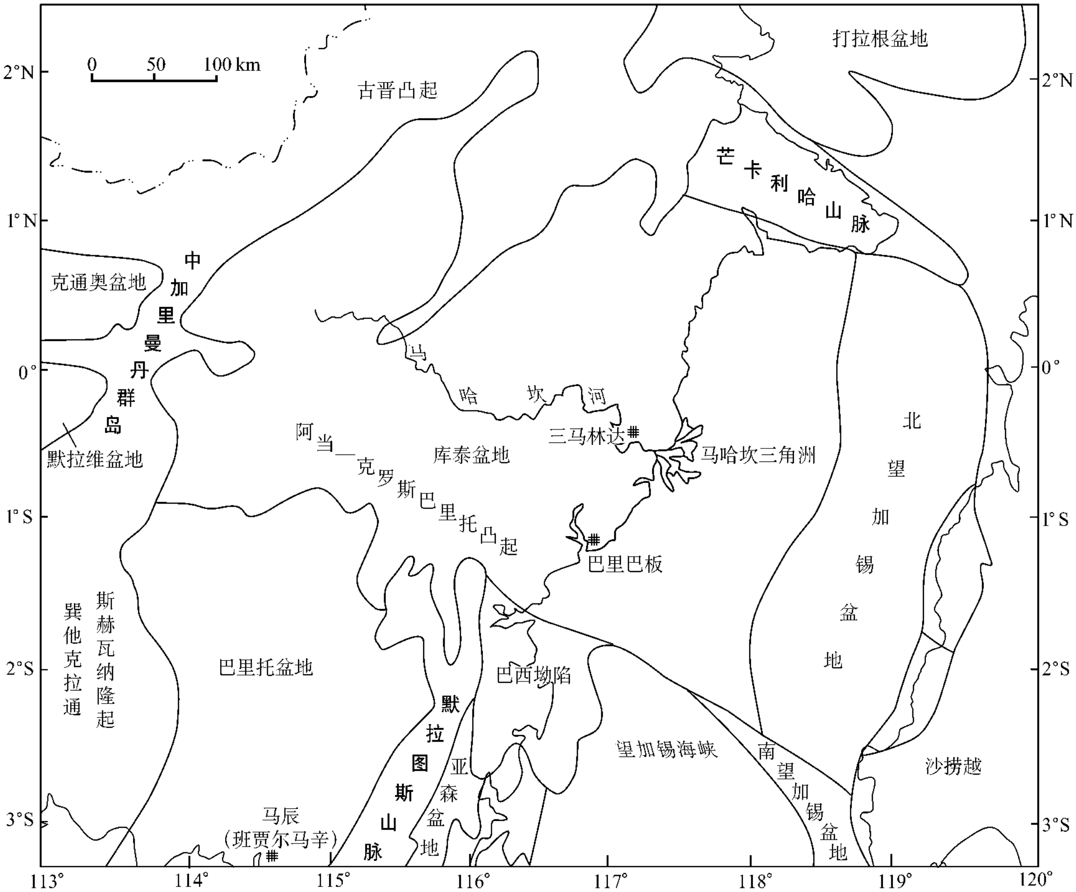


图 2—3—1　库泰盆地位置图（引自 Didier Arbouille，Sarah—Jane Thompson，**1993）**

—海侵大陆架—大陆斜坡及深海环境。因此，始新统不整合于前第三系之上，由底部的非海相沉积物（Kiham Haloq 组）和其上的海相沉积物（Batu Ayau 组）组成，物源主要来自北部（Mangkalihat 凸起）、南部（巽他克拉通）及西北部（Kuching Zone）。

渐新世主要沉积了海相页岩和石灰岩；并伴有局部海退，在此期间西部和中部分别沉积了 Len Muring 和 Bougan 组的砂岩和页岩。到上渐新世时，盆地仍以深海环境为主，沉积了浅海至半深海相粘土和页岩（Pamsluan 组）。盆地四周为浅海环境，沉积了碎屑岩和少量碳酸盐岩地层（库泰盆地西部的 Berai 组）。

3）**挤压及坳陷期：晚渐新世至今**（23.3—0 *Ma*）

该演化阶段又可分为 3 个亚期：晚渐新世至早中新世挤压抬升期；晚中新世至上新世的转换拉张期；上新世至今的挤压沉降期。

晚渐新世和早中新世的北西—南东向挤压导致了 Kuching 凸起的继续抬升、盆地西部褶皱成山和基岩的抬升与剥蚀；中新统底部的角度不整合标志着盆地西部演化的一个重要构造阶段。西南部的相对隆起把 Barito 盆地和库泰盆地分为 2 个不同的构造单元。晚渐新世和中新世时，非海相和陆缘—海相三角洲沉积物开始充填盆地。

东西向的挤压导致库泰盆地回返和默拉图斯山脉的形成；在马哈坎（Mahakam）三角

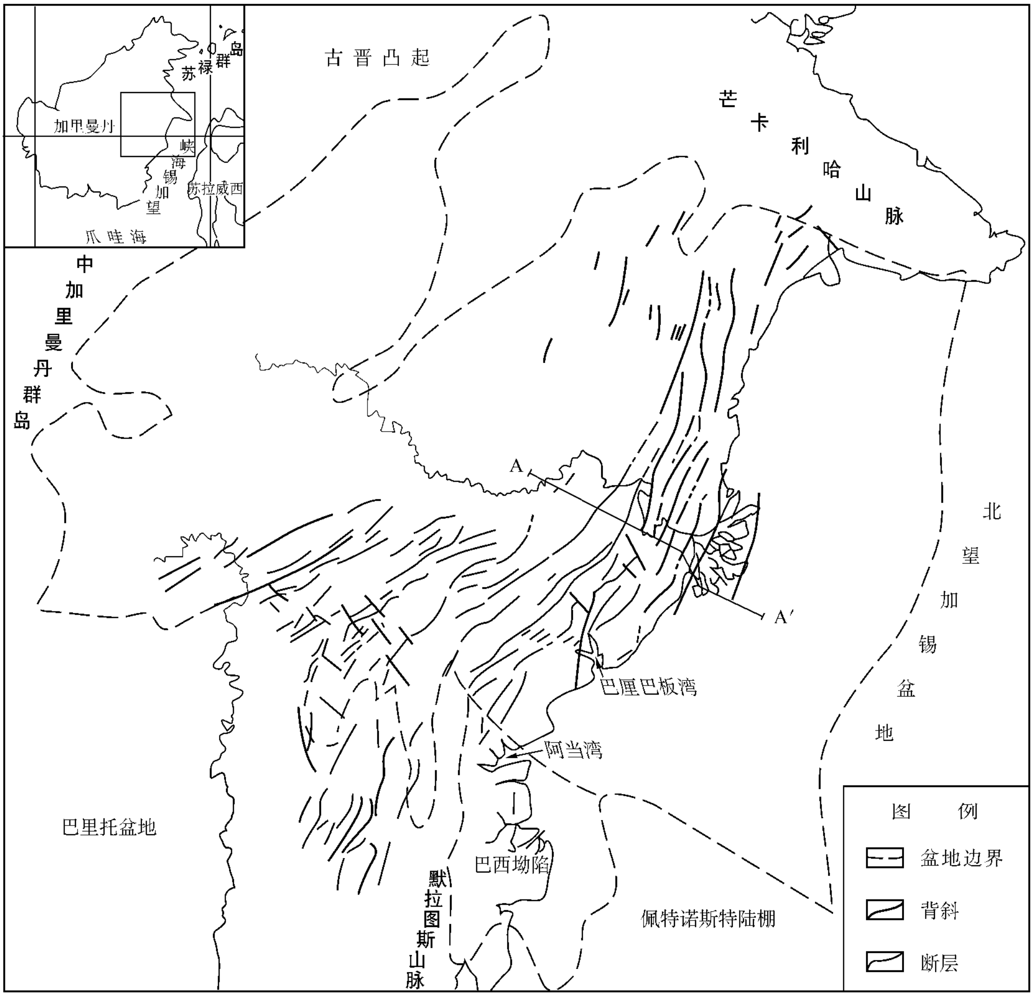


图 2－3－2 库泰盆地构造纲要图

（据 Van Bemmelen，1970；Weerd 等，1987；Huffington，Helmig，1990）

洲，形成了反转构造和推覆构造，并且剥蚀厚度超过 2000m。

库泰盆地新近系一般为浅海相石灰岩（Maruat 组）和浅海及三角洲相沉积物（Bebulu 群 Palau Balang 组）。在库泰盆地西部，Marah（Rita）组的砾状砂岩直接覆盖在不整合面之上。Bebulu 群之上为中中新世至晚中新世沉积的 Balikpapan 群。Balikpapan 群由三角洲和滨海相的 Menntawir 组、浅海相的 Gelingseg 组和陆棚碳酸盐礁相的 Klandasan 段组成，该群的砂岩为库泰盆地油气聚集提供了储集层。

中中新世到晚上新世，沉积了 Kampung Batu 群，其下部为滨海—三角洲相的 Tanjung Batu 组，顶部为浅海—浅滩—生物礁相的 Sepinggan 组。

在库泰盆地西部，上新统至第四系沉积物称为库泰群，由陆相—三角洲相—滨海相硅质碎屑岩夹一些重要煤层组成。

默拉图斯山脉及 Kuching 凸起在整个上新世至更新世都存在。三角洲沉积轴部从中中

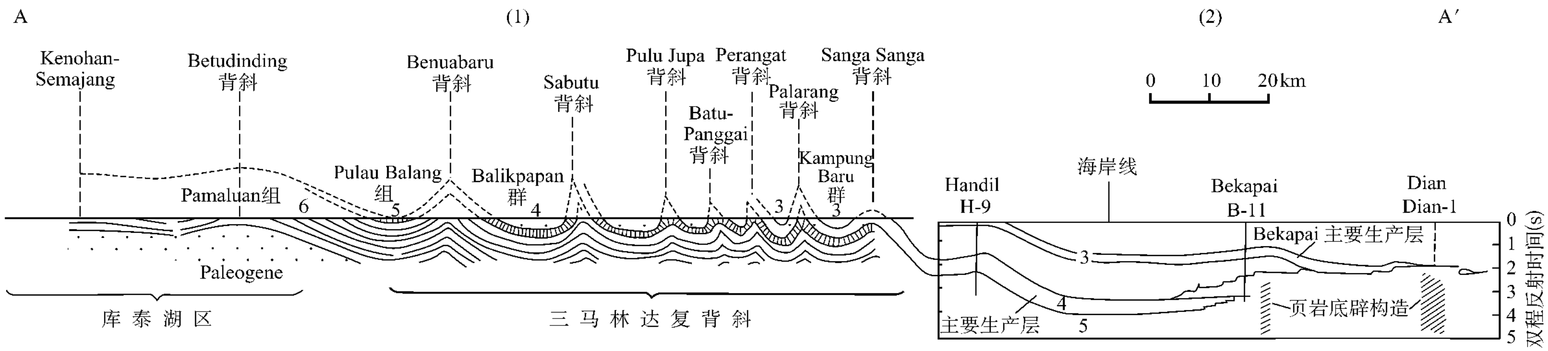
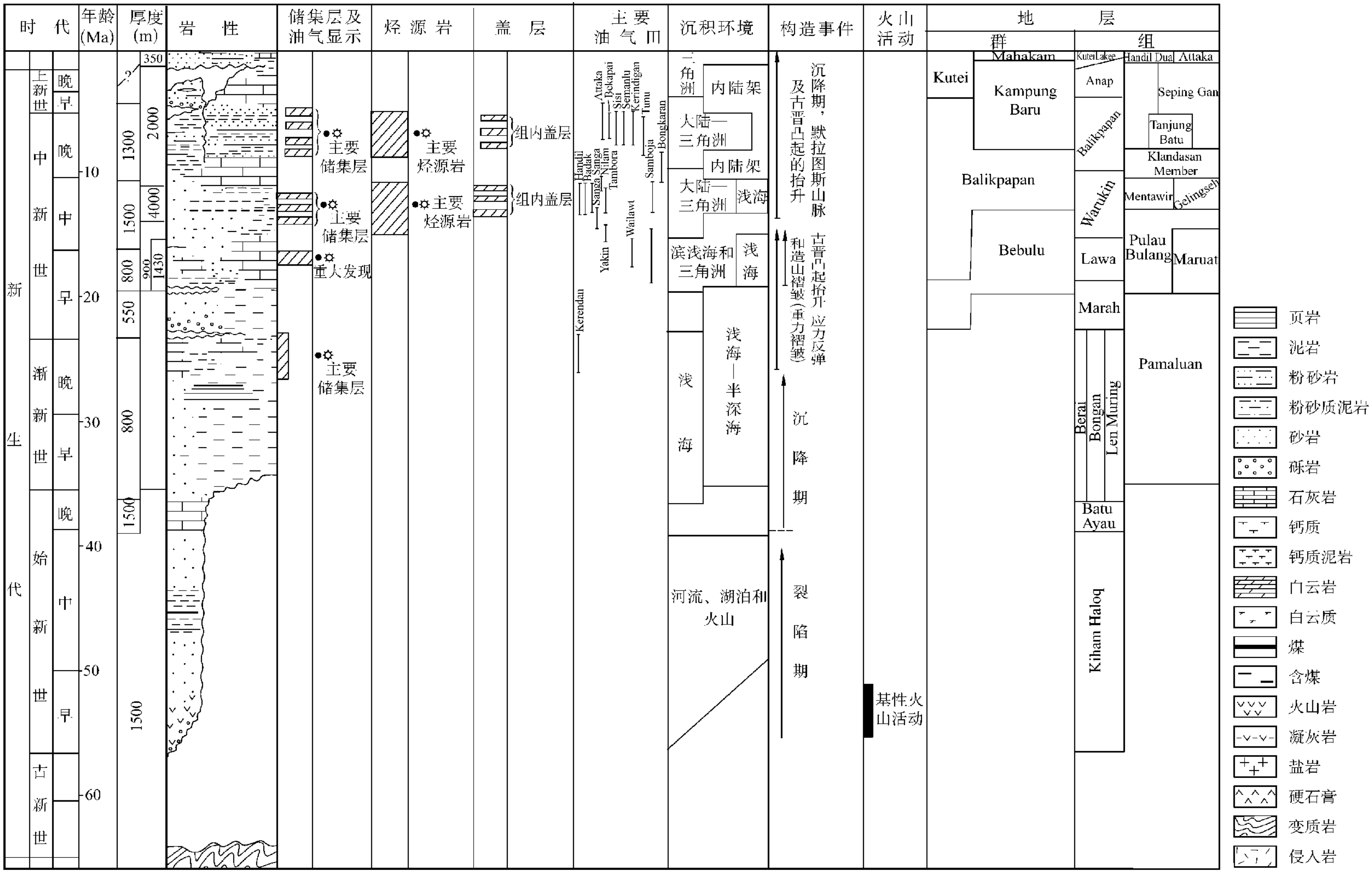


图 2－3－3　库泰盆地区域横剖面图（**引自** Didier Arbouille，Sarah－Jane Thompson，1993）

表 2—3—1　库泰盆地综合地层表（引自 Didier Arbouille，Sarah－Jane Thompson，1993）



新世至今一直向东迁移，进积三角洲沉积贯穿整个过程。在马哈坎地区沉降一直存在且持续至今，除海域有连续沉积发生之外，全盆地存在一个第三系—第四系不整合面，这可能是由于早上新世的海侵所造成。在库泰盆地中部和西部，上覆更新世至今的马哈坎群为非海相至近海三角洲相（河流至潮间带及三角洲相的 Handil 组），东部则为海相（浅海相 Attaka 组）。

2. 地层简介

在第三纪时盆地充填了巨厚的碎屑岩沉积物。前第三纪基底埋深达 6～8 km。库泰盆地发育的主要地层如表 2－3－1 所示。

（1）中始新统下部 Kiham Haloq 组：底部为砾岩、砾状砂岩及火山岩，向上变为砂、泥岩夹煤层；顶部发育有火山岩；最厚达 1 500 m 左右。

（2）上始新统 Batu Ayau 组：以海相石灰岩为主；最厚达 1 500 m 左右。

（3）渐新统包括 Berai 组、Bongan 组、Len Muring 组和 Pamaluan 组：由深海相泥岩、页岩夹砂岩及石灰岩组成。

（4）中—下中新统 Bebulu 群：由 Maruat 组和 Pulau Bulang 组组成，前者为石灰岩沉积，属礁相生物碎屑灰岩；后者为深水碎屑岩沉积，由砂岩、粉砂岩互层组成。

（5）中中新统 Balikpapan 群：包括 Mentawir 组、Gelingseh 组、Klandasan 段和 Warukin 组。Mentawir 组为三角洲平原相块状和层状砂岩；Gelingseh 组为远端三角洲至中陆棚相粘土岩沉积；顶部为 Klandasan 舌状体石灰岩。

（6）中中新统—上新统 Kampung Baru 群：主要由 Tanjung Batu 组和 Seping Gan 组组成；Tanjung Batu 组为海进三角洲相页岩、粉砂岩、砂岩和煤；Seping Gan 组为前三角洲相粘土、砂岩和石灰岩。

（7）第四系马哈坎群：包括西部的 Handil Dua 组和东部的 Attaka 组。前者为海进三角洲相沉积，不整合于 Tanjung Batu 组之上，由砂、粘土和淤泥组成；后者为浅海至广海环境下沉积的粘土、砂和生物碎屑。西部为库泰群，由陆相—三角洲相—滨海相碎屑岩夹煤层组成。

二、大地热流

库泰盆地的地温梯度为 2.1～5.5℃/100m，平均为 3.2℃/100m（在 Attaka 油田为 3.6℃/100m，在 Badak 油田为 2.7℃/100m）。库泰盆地沉积岩的热传导率为 5.24mcal/（℃·cm²·s）。计算的热流值为 1.64mcal/（cm²·s）（Thamrin，1985）。对于稳定型盆地而言，这些值为正常到偏高，因此，Burrus 等人（1992）认为东西向大气冷水的循环是快速冷却的主要因素。在 Tambora 观测到的低温可能是很厚的前中新统三角洲沉积物的披盖效应所造成。没有浅侵入热源引起高流值的证据。

三、火山活动

除始新世该盆地有少量火山活动外，后期基本上未发生火山活动。

四、含油气性

1. 烃源岩

马哈坎三角洲油气田的主要烃源岩为中中新统 Balikpapan 群的碳质页岩和煤层；在 Sangatta—Bungalun 地区，下中新统 Pamaluan 组及 Kariorang 组，中中新统 Maluwi 组及 Pulau Balang 组和上中新统—上新统 Kampung Baru 群可能发育有很好的烃源岩。

中中新统 Balikpapan 群三角洲相的碳质页岩和煤层含有丰富的来源于生物降解的陆源有机质生油干酪根，该干酪根富含蜡质、胶质和来自陆地高等植物的组分。碳质页岩中有机

碳含量一般大于2%。在马哈坎三角洲，海相及前三角洲页岩中有机碳含量为1%，页岩夹层为7%～8%，煤层为50%～80%。生烃潜力变化较大，只有煤层的氢指数可达350～400mg/g。而煤层的生油生气潜力都很高。

盆地中部有机质热成熟的深度平均为3500 m。这样生油窗大多位于三角洲相之下，但包括其下部，也包括下第三系。在盆地边部，有机质成熟的深度相对较浅，约为2 900 m。因此，含有成熟有机质的沉积物包括时代上与中新世三角洲沉积物相当的海相（陆架中部及开阔海）沉积层。

Balikpapan群一般都位于生油窗内并生成石油和凝析油。据Burrus等（1992）的研究表明，富含煤和砂岩的常压三角洲平原相烃源岩比深部超压带的海相页岩更为有效。

假如把R_o＝0.7%看为有机质成熟带的顶界，马哈坎三角洲有机质成熟带的顶部埋深为2 900～3 500 m；假如R_o为0.6%，那么成熟带顶部埋深则为2 300～3 300 m。在Tambora生油窗顶部的埋深约为3 600～3 800 m（R_o＝0.6%，西侧及构造顶部）。在Handil生油窗顶部的埋深约为2 400 m（R_o＝0.6%），在Tunu和Sisi油田，基于少量精确R_o值的计算，其生油窗顶部的埋深约为3500 m。

库泰盆地的石油主要来自于陆生植物的Ⅲ型干酪根。褐煤物质所含有机碳高达50%，它由70%～90%的腐殖组、10%～20%的壳质组和2%～20%的惰质组组成。壳质组由角质和胶质组组成，其生烃潜力最好。一些油样的分析也表明主要生物降解成分已出现，然而，由于地温梯度太高，在目前埋深的范围仍在进行生物降解。这就表明最初的石油侵位和生物降解发生时，现在作为储集层的岩层比目前埋深要浅。

2. 储集层

库泰盆地的产油气储集层主要为中中新世到上新世三角洲平原和前缘环境下沉积的砂岩（Balikpapan和Kampung Baru群），上三角洲平原分流河道砂岩的储集物性更好。在马哈坎三角洲地区，Tanjung Batu组（Kampung Baru群）的砂岩也为油气产层（表2—3—2）。库泰盆地西南部渐新统碳酸盐岩中也发现了天然气。Balikpapan群三角洲砂岩为库泰盆地的主要产油气储集层。其沉积环境包括河道充填、河口坝、滨岸障壁岛及前三角洲。例如，在Handil油田，储集层为中中新世至上新世沉积的下三角洲平原河流及分流河道透镜状砂岩；在该油田至少有58个宽度为0.5～2 km互不相连的砂体。

表2—3—2　各层位油气储量

时代（层位）	油（10^6bbl）	气（10^9ft^3）
中—上中新统（Balikpapan群）	1 826	21 124
中中新统—上上新统（Kampung Baru群）	1 502	11 903

该盆地储集层的孔隙度介于2%～39%之间，且一般为中至高孔；渗透率普遍较高，主要在（30～5000）$\times10^{-3}\mu m^2$之间（表2—3—3）。

表2—3—3　库泰盆地各油田储集层物性

油　田	Attaka	Badak	Bongkaran	Handil	Nilam	Pamaguan	Sangatta	Yakin	Yankin Barat
孔隙度（%）	2～35	3～39	25～30	18～25	3～27	20～30	22～29	16～30	14～29

渗透率 ($10^{-3}\mu m^2$)	30～5 000	0.1～5 300		50～1 000	0.1～1 800	10～1 500			

3. 盖层

库泰盆地的主要盖层如下：

中中新统（Bebulu 群）：碳质页岩互层——Pulau Balang 组储集层的半区域性盖层。

中中新统（Balikpapan 群）：页岩夹煤层——Balikpapan 群储集层的半区域性盖层。砂岩间的互层页岩具有一定的塑性变形能力，所以当砂岩层发生褶皱时这些页岩能成为很好的盖层。此外，超压层也是很好的盖层。

上新统：Kampung Baru 群页岩不仅对同时代的砂岩储集层起封闭作用，而且对其下的 Balikpapan 群砂岩储集层也起封闭作用。

4. 油气生成与运移

天然气和液态烃形成于不同的深度：天然气形成于 5 000～6 000 m 之间，而腐殖型有机质生成的石油形成于 3 500～4 000 m 之间。

在马哈坎三角洲，最早关于烃类运移的模式基本上都是垂向运移。天然气的运移有助于石油的运移，轻烃分子自下面的烃源岩向上运移得更远，于是导致石油的重力分异。例如，在 Handil 和 Bekapai 油田，重质石油滞留在深层。相反，近期的模式则指出主要为侧向运移，更强调了水动力机制。根据这一模式，在马哈坎三角洲，地质历史中地层水由西向东流动，而且至今仍在继续。水动力机制似乎是受剖面中砂岩含量的控制。垂向运移似乎为辅助作用，只发生在断裂构造和砂层垂向上连通较好的地区。因此，油气运移相对于构造圈闭形成的时间至关重要。

Kingston（1988）认为最深最大的油源层曾在 19 Ma（下中新世）以前已达到生油的深度（3500 m）。

在马哈坎三角洲北部的 Sangatta 地区，发现有烃类在晚中新世和上新世期间从中中新世烃源岩运移出来的证据。很明显早中新世和中中新世烃源岩生成的石油已经逸失，因为石油发生运移时，Sangatta 背斜尚未形成。而位于 Sangatta 背斜顶部的中中新世烃源岩曾生成过石油但还未排出，而 Sangatta 背斜中的石油来自于该构造翼部的同时代烃源岩。

在马哈坎三角洲，尽管在构造翼部生油至今仍在进行，但多数生油发生在晚中新世及上新世。而油气的排出与充注于构造中则是很晚的事。

有学者认为，马哈坎三角洲油气的分布受生油窗相对于下伏超压带的位置控制：如果生油窗正好位于超压带之上并紧邻超压带，石油就能排出并发生运移（Handil 及 Kelambu 油田）。但是如果生油窗在超压带内部，则只有气态烃排出，而液态烃不能排出（Badak 及 Bekapai 油田）。若位于超压带之下，向下如果这正好是静水压力降低的方向，烃源岩生成的石油可以向下运移。超压带相对于生油窗的变化可能与页岩的底辟作用有关。在 Badak 油田，许多气藏叠置在一起，仅仅被很有效的盖层将它们分隔，在这种情况下，垂向和穿层运移都不会发生。

总之，超压带的分布对油气的侧向运移具有不可忽视的作用。

5. 含油气组合

该区中新世以来构造运动较少，重力滑动为主的挤压背斜是主要的圈闭类型，但有的构造受地层因素的影响较大。

1）含油气组合类型

（1）Balikpapan 群含油气组合。在 38 个油气田和油气发现中具有 Balikpapan 群含油气组合，迄今为止占全盆地可采储量的 57%。它包括构造油气藏和构造—地层油气藏。

在 20 个油气田和发现中存在 Balikpapan 构造油气藏，占全盆地 21%的油、19%的凝析油和 49%的气。其中背斜圈闭可划分为 3 种：

①背斜：有时很对称并沿南北方向拉长，该类背斜包括 Lampake1、Nangka 18、Nilam、Pantai、Prangat 2、Sambutan、Semberah Timure1 等背斜。

②断背斜：有的对称、拉长或分割成断块，包括 Apar 1、Jumelai 1、Klandasan Balikpapan、Petung 2、Rajah、Santan、Sesumpu 等构造。

③发育于逆断层之上的极不对称的滚动背斜，如 Sanga 背斜。

在 18 个油气田和发现中见有 Balirpapan 构造—地层油气藏，占全盆地 38%的油、16%的凝析油和 11%的气。可进一步划分为如下几种：断层遮挡的拉长状、非对称背斜；页岩覆盖和限制的河道及点沙坝地层圈闭，如 Handil 和 Samboja；伴有背斜脊部断裂的含有薄层透镜状砂体的背斜，如 Sangatta。

（2）Kampung Baru 群含油气组合。在 14 个油气田和发现中存在着 Kampung Baru 群含油气组合，到目前为止其可采储量占全盆地可采储量的 39%。圈闭为受断层切割或未被断层切割的背斜，储集层以三角洲平原和前缘的砂岩为代表，盖层为该群之上的页岩。

其中在 10 个油气田及发现中具有 Kampung Baru 构造油气藏，占全盆地 15%的油、9%的凝析油和 11%的气。包括：①与页岩底辟构造作用有关的背斜；②有断层分隔体的对称背斜。

在其中 4 个油气田中存在着 Kampung Baru 构造—地层油气藏，占全盆地 23%的油、51%的凝析油和 26%的气。主要由具有砂岩相变和尖灭的背斜断块复合体组成。

（3）Bebulu 群含油气组合。在 14 个油气田和发现中见有 Bebulu 群含油气组合，到目前为止其可采储量占全盆地可采储量的 2%。圈闭为受断层切割或未被断层切割的背斜、或背斜—地层圈闭。储集层主要为河流、三角洲或滨海相砂岩，同时发育有浅海碳酸盐岩储集层；盖层为组内页岩。

其中 8 个油气田及发现存在 Bebulu 构造油气藏，含全盆地 1%的油和不到 1%的气，圈闭为受断层切割或未被断层切割的背斜。

2 个油气田和 1 个油气发现中具有 Bebulu 构造—地层油气藏。全盆地不到 2%的油和约 1%的气储存于其中。圈闭位于南北走向的 Tambora—Nilam—Badak 背斜带内及包括页岩覆盖和限制的三角洲河道及点沙坝地层圈闭。

（4）Berai 组含油气组合。Berai 组含油气组合仅见于一个油气发现中，并且为地层油气藏。其储量占该盆地可采储量的不到 2%，估计含该盆地 2%的凝析油和 2%的气，圈闭为上始新统至渐新统的碳酸盐岩建造，如 Kerendan 1。

2）封闭时间

Balikpapan 群的储集层在其内的页岩和煤层沉积后不久便被封闭。中中新统 Pulau Balang 组的储集层在其内钙质夹层沉积后不久便被封闭。在 Handil 油田油气充到溢出点，油层带的厚度很大，估计在 2 700～3 700 m 之间，并且在构造翼部更大，在 Handil 油田目前的石油运移量大于 10%。

3）影响油气有效圈闭的因素

（1）油气生成：为早中新世至今，生油高峰在晚中新世。

（2）圈闭形成：地层圈闭的碳酸盐岩建造形成于渐新世（Berai 组）；构造及构造—地层圈闭形成于晚中新世。

（3）最早封闭：Berai 石灰岩储集层封闭于早中新世；Balikpapan 和 Kampung Baru 储集层封闭于中中新世至上新世。

如果油气最早于早中新世生成并发生运移的话，则只有下第三系的生物礁和披覆构造能捕获石油（Kerendan 1），这是因为盆地的主要储集层（中—上中新统三角洲砂岩）尚未沉积和封闭。随着库泰盆地的沉降，年轻的层位相继进入生油窗口。当圈闭中发育有三角洲砂岩时，石油运移进去（如晚中新世形成的褶皱）；但是，有些早中新世生成的石油就逸失了。据 Durand 等人的研究，马哈坎三角洲的构造、生油与运移几乎是同时发生，而部分石油的运移始于 5 Ma 前并至今可能仍在进行。

6. 含油气系统

Balikpapan—Kampung Baru 是库泰盆地惟一的含油气系统。Balikpapan—Kampung Baru 群提供了主要的烃源岩、所有重要的储集层以及主要盖层和大多数的上覆地层，从而构成了库泰盆地的主要含油气系统。

由于沉降作用以及三角洲的进积，聚集了很厚的有机沉积物。快速的埋藏和较高的地温梯度使大量的烃类生成。中中新统 Balikpapan 群和局部地区 Kampung Baru 群中的碳质页岩和煤层在马哈坎三角洲下面形成了丰富的烃源岩，这些页岩既是烃源岩又是盖层。

该系统的形成时间为 10.4 Ma（最早的烃源岩沉积时）至今。

在马哈坎三角洲，影响油气聚集的因素主要有两点：

（1）主要为侧向运移，最新的模式表明在马哈坎三角洲，油气的运移是以侧向为主，流体从东向西进行水平流动且至今仍在进行，水动力机制受地层中砂岩含量的控制。垂向运移是次要的；而且只发生在受断层切割的构造以及砂层垂向连通较好的地区。所生成的油气也可通过位于每个三角洲旋回前积层的指状沙坝的多孔输导层运移到储集层之中。

（2）在马哈坎三角洲近期可能发生过冷却并可能对烃源岩成熟度的分布产生影响。这种冷却作用可能是由于上新世至今的剥蚀或大气水的由西向东向循环所致。

7. 油气储量及丰度

根据 1991 年底对库泰盆地所有油气田和发现的统计，最终可采油储量为 $3\ 032.3\times10^6$ bbl、凝析油 814.3×10^6 bbl、天然气 $437\ 902\times10^8$ ft^3，其油气丰度见表 2—3—4。

表 2—3—4　库泰盆地油气丰度（1991）

类　　型	油和凝析油	气	总　　量
油气丰度	20 277bbl/km^2	245×10^6 ft^3/km^2	61 110bbl（油当量）/km^2

8. 主要油气藏类型

库泰盆地的主要油气藏类型为构造型，包括背斜、断背斜、滚动背斜以及与页岩底辟构造作用有关的背斜和有断层分隔的对称背斜等（图 2—3—4），其次为构造—地层型，包括：①断层遮挡的拉长状、非对称背斜；②被页岩覆盖和限制的河道及点沙坝地层圈闭；③伴有背斜脊断裂并含有薄层透镜状砂体的背斜等（图 2—3—5）。

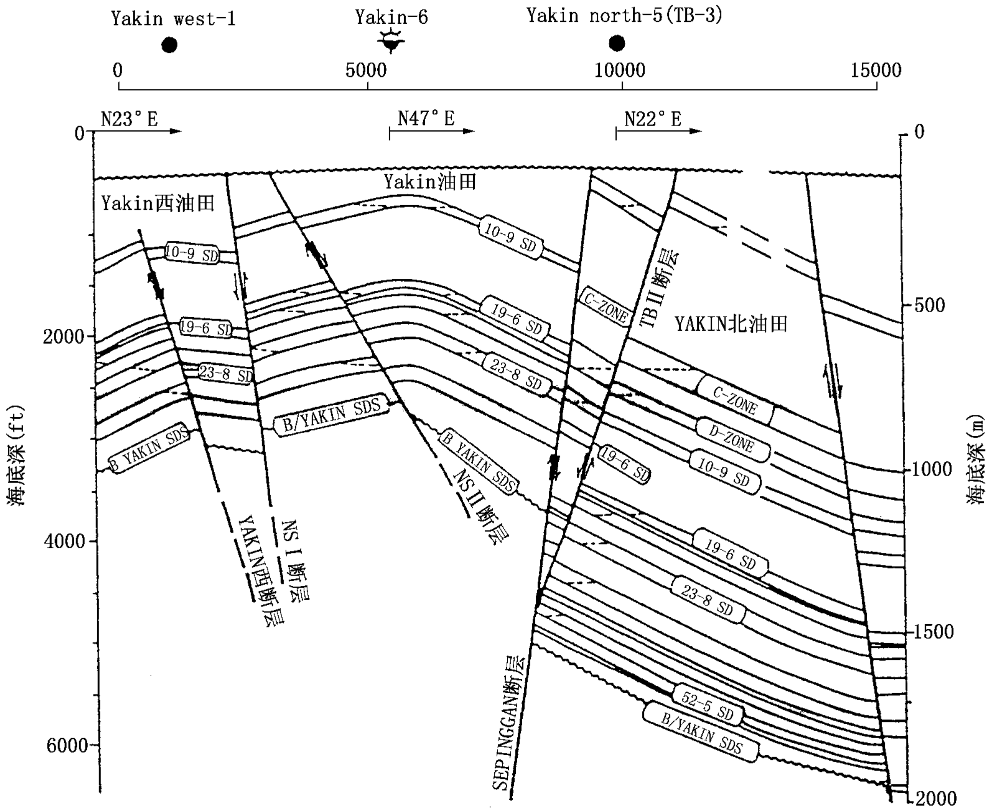


图 2—3—4　Yakin 油田横剖面图（据 Sjadzali，Kachelmeyer，1986）

9. **油气田分布**

就目前的勘探状况而言，库泰盆地的油气田主要分布在马哈坎三角洲地区，这主要是由于到目前为止，勘探工作主要集中在这一地区之故；随着勘探的进一步扩大，在别的地区可能会有所发现。

10. **大油气田与典型油气（藏）**

在库泰盆地中发现了许多油气田，有不少是大型油气田（表 2—3—5）。

表 2—3—5　库泰盆地大油气田可采储量

油 气 田	油（10^6bbl/10^8t）	凝析油（10^6bbl）	气（10^8ft^3/10^8m^3）
Badak	100/0.14	54	60 700/2 248
Nilam	28	108	52 460/1 943
Sanga Sanga	320/0.457	0	92 500/3 426
Sepinggan	60	0	2 000/74
Handil	900/1.28	100	20 000/740
Mutiara	8	17	9 750/361
Bekapai	200/0.286	0	5 000/185
Peciko Baratlaut 1	0	35	20 000/740

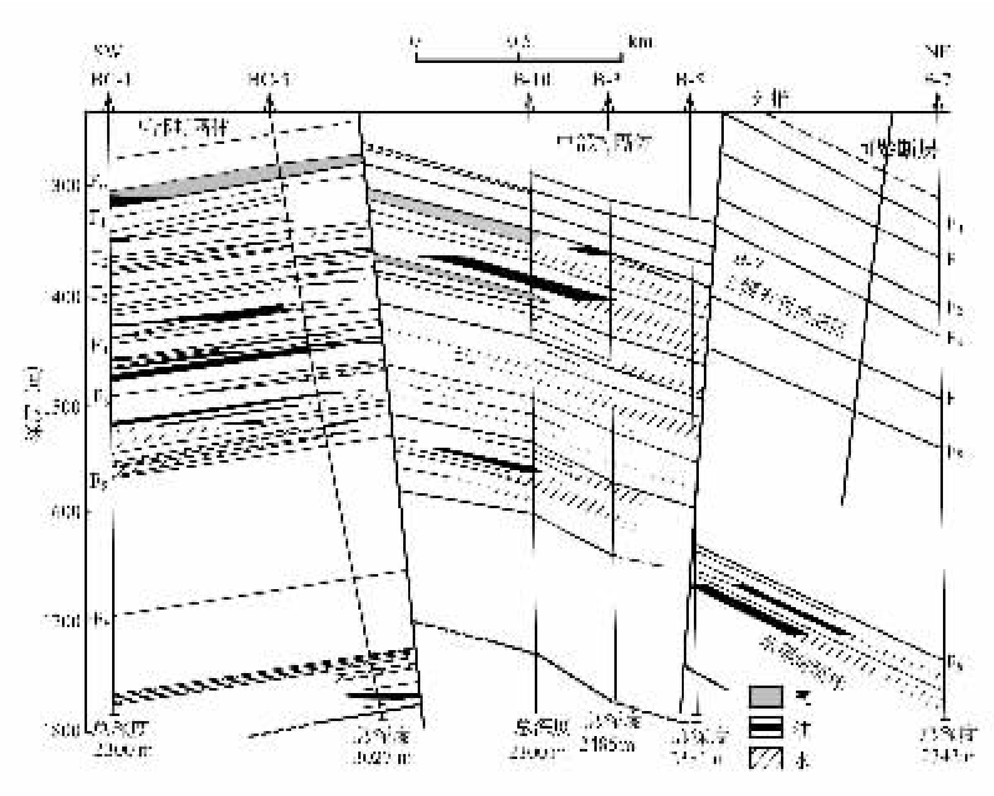


图 2—3—5　贝卡比（Bekapai）**油田横剖面图**（**据** De Matharel **等，1980**）

Serang **1**	**50**	**40**	**15 000/555**
Attaka	**600/0. 86**	**55**	**12 500/463**
Tunu	**20**	**400**	**100 000/3 703**
累计	**2 286/3. 26**	**809**	**389 910/14 441**
占总储量比例	**75. 4%**	**99%**	**89%**

贝卡比（Bakapai）**油田位于库泰盆地中部马哈坎三角洲（图 2—3—6），距海岸 30** km，**发现于 1972 年。贝卡比油田位于贝卡比构造上，该构造是一个南北向构造带的一部分，这个带沿走向有 2 个较大的高点，北高点为阿塔比，南高点为贝卡比（图 2—3—7）；这一大背斜被一组南北向断层横切，这些断层的主要活动期相当晚，并使背斜中心部分塌陷。东、西 2 条主断层把该构造分为 3 部分，这 2 条断层的落差为 100～150** m（**图 2—3—8），构造的西部为油田主体，中部目前产油量较少，东部未发现具有工业价值的油流。贝卡比油田的储集层为中新统上部** Balikpapan **群的三角洲平原和三角洲前缘砂岩（图 2—3—9），砂岩颗粒较细，分选好，未固结；孔隙度一般为 25%～35%，渗透率一定大于 1**μm^2**。储集层的横向连续性差，厚度变化为 0～25** m，**分布范围相当有限（图 2—3—5），大多数含油气砂岩的埋深在 1 300～1 600** m **之间；油气来源于邻近中新—上新世沉积的页岩和煤层。这些烃源岩的有机质尽管主要为腐殖型干酪根，但生油潜力仍很大。与储集层互层的这些页岩也扮演局部盖层的角色。**

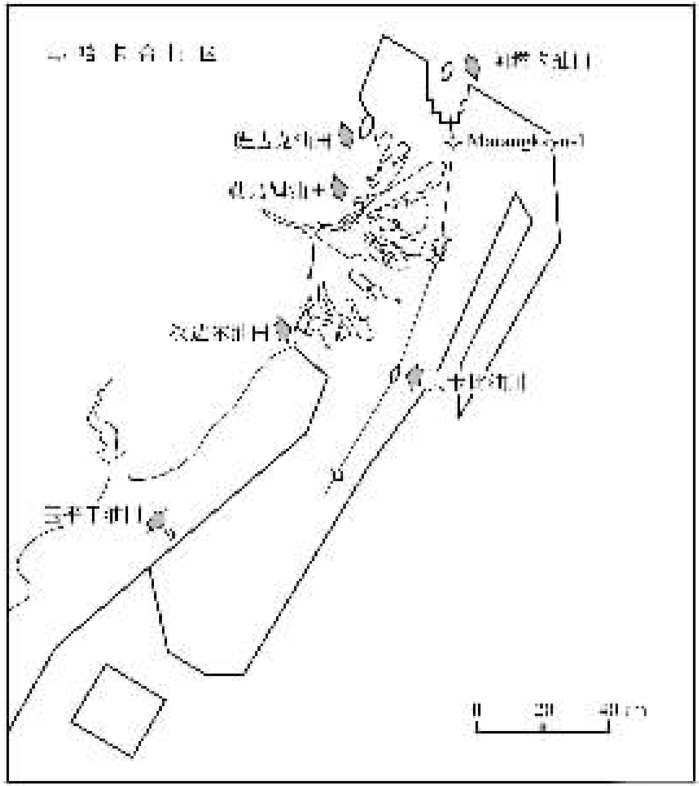


图 2—3—6　印度尼西亚马哈坎合同区贝卡比油田位置图

（据中国海洋石油总公司海洋石油勘探开发研究中心，1990）

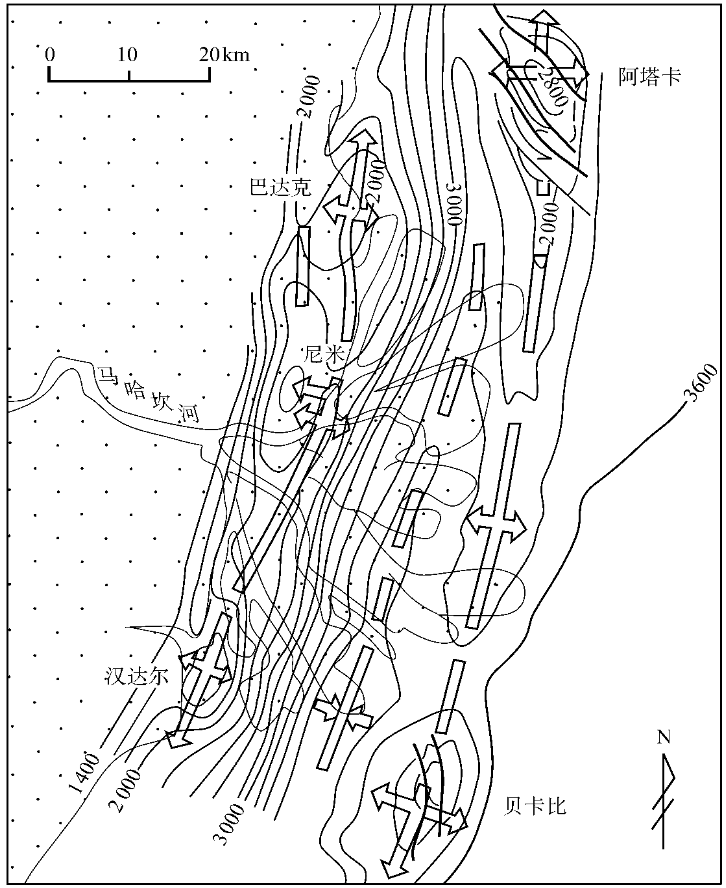


图 2—3—7　马哈坎三角洲构造图

（据 J. L. Oudin，P. F. Picard，1982）

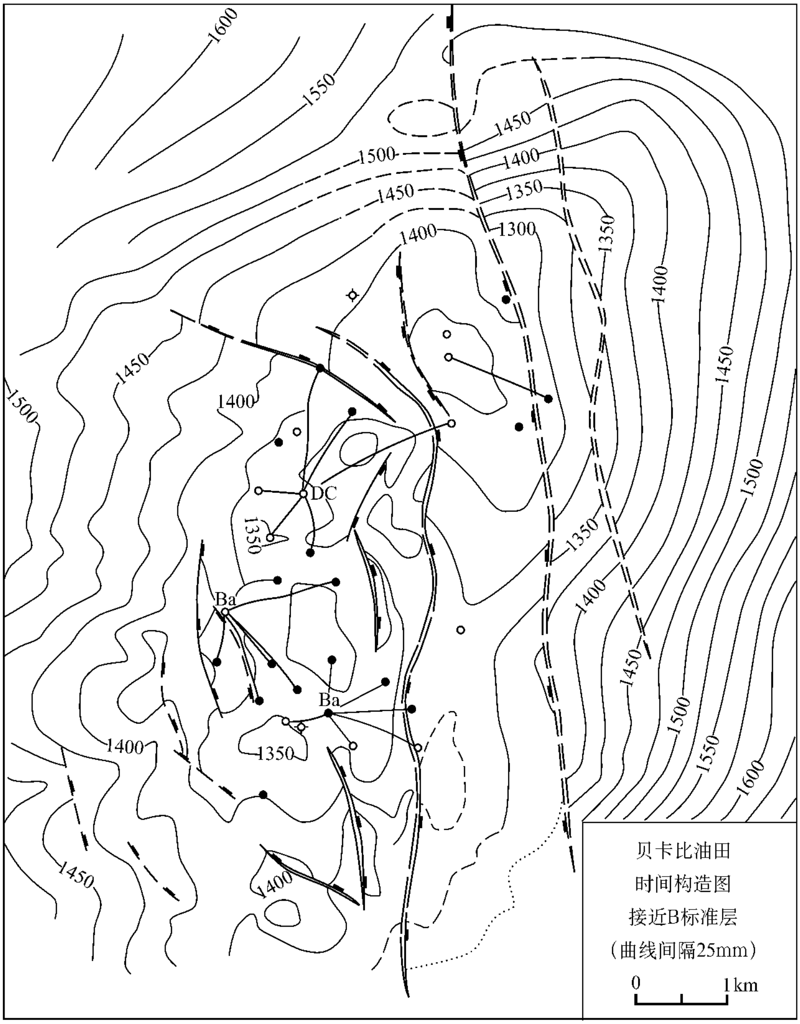


图 2－3－8　贝卡比油田构造图

（据中国海洋石油总公司海洋石油勘探研究开发中心，1990）

11. **勘探开发历程及现状**

库泰盆地油气勘探始于 19 世纪末，然而，在 1940—1970 年间勘探开发进展缓慢。20 世纪 60 年代后期，才又开始了较大规模的勘探。到目前为止，勘探集中于沿岸的狭窄地带，且主要集中于马哈坎三角洲，这也是为什么到目前为止该盆地发现的油气田主要集中于此的原因，而此带所占比例还不到该盆地陆上面积的六分之一；因此，该盆地仍有大部分处于勘探前缘。在勘探程度较高的沿岸地带，由于勘探效率降低，将来的勘探将向盆地内部发展。而盆地西部 Kerendan **1 号油气田（估计储量为 2 000×10^4** bbl **油及 1×10^{12}** ft^3 **气）的发现，证实盆地内部很有潜力。在 1985—1995 年间，除** Kerendan **1 油气田外，发现的所有大型油气田皆为海上气田，如** Sis **气田（1986）：115×10^6** bbl **油及 1 500×10^8** ft^3 **气；** Peciko Barat －laut **1 号气田（1991）：35×10^6** bbl **油及 2 000×10^8** ft^3 **气。**

有许多层位尚待勘探，如下第三系砂岩（相当于 Tanjung **组）、上渐新统至下中新统碳**

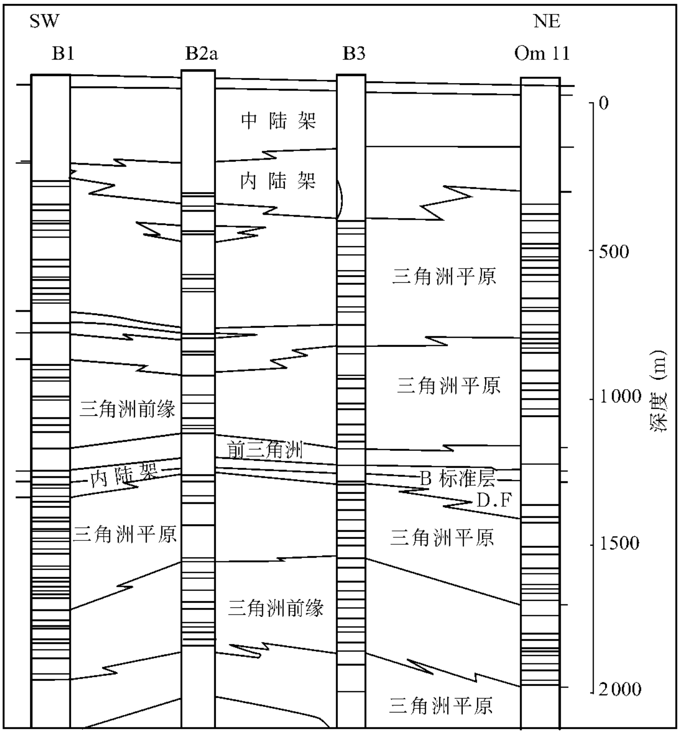


图 2—3—9　马哈坎三角洲贝卡比油田沉积环境柱状图
（据中国海洋石油总公司海洋石油勘探开发研究中心，1990）

酸盐岩（Berai 组）、中新统、上新统三角洲砂岩（Balikpapan 和 Kampung Baru 群）、中新统至上新统生物礁（Kampung Baru 群）等。

五、小结

（1）库泰盆地由于巽他克拉通的解体而形成裂谷，56.5—29.3 Ma 前为裂谷发育阶段，29.3 Ma 前至今为挤压及坳陷发育阶段。由于快速沉降及沉积物补给丰富，在很短的时间内就沉积了数千米厚的沉积物，为油气的生成和储集提供了雄厚的物质基础。

（2）因该区地温梯度较高，有利于有机质成熟。其主要烃源岩为 Balikpapan 群的碳质页岩。

（3）主要储集层为 Balikpapan 群的砂岩，其次为 Kampung Baru 群的砂岩和 Bebulu 群的砂岩与灰岩。

（4）主要盖层为 Pulau Balang 组的碳质页岩（局部）、Balikpapan 群的页岩和煤层（准区域）及 Kampung—Baru 群的页岩（准区域）。

（5）构造及构造—地层圈闭为主要油气藏类型，且构造圈闭主要形成于盆地的挤压期。

（6）到目前为止发现的油气田主要集中于马哈坎三角洲地区。

参 考 文 献

中国海洋石油总公司海洋石油勘探开发研究中心．1990．海上油气田勘探开发典型实例选编．北京：石油工业出版社

Anonymous. 1980. Hydrocarbon plays in Tertiary S. E. Asia basins. Oil and Gas Jour-

nal, Vol. **78**, No. **29**

Daly M C, Hooper B G D, Smith D G. **1987.** Tertiary plate tectonics and basin evolution in Indonesia. Proceedings Sixteenth Indonesia's Petroleum Association Annual Convention, **399—428**

Durand B, Bressereau G, Ungerer P H, *et al*. **1986.** Mechanisms of hydrocarbon migration in Mahakam Delta, Kalimantan, Indonesia, Bulletin of AAPG Vol. **70**, No. **5**

Durand B, Bessereau G, Doligez B, *et al*. **1988.** Generation and migration of petroleum in the Mahakam Delta, Indonesia. Bulletin of AAPG Vol. **72**, No. **8**

Nurmi R D, Saito K, Uchiyama T. **1986.** Geometrical modeling of reservoir sandstone in Miocene Mahakam Delta, Indonesia. Bulletin of AAPG, Vol. **70**, No. **5**

Packham G H. **1990.** Plate motions anf Southeast Asia: Some tectonic consequences for basin development. Southeast Asia Petroleum Exploration Society Proceedings, IX, **55—68**

Panigoro H. **1989.** Exploration implications of porosity and permeability preservation by early migration of hydrocarbons in Kutei Basin, East Kalimantan. Proceedings Eighteenth Indonesian Petroleum Association Annual Convention

Sunaryo R, Martodjojo S, Wahab A. **1988.** Detailed geological evolution of the possible hydrocarbon prospects in the Bungalun area, East Kalimantan. Proceedings Seventeenth Indonesian Petroleum Association Annual Convention

第四节　湄公三角洲盆地

湄公三角洲（Mekong Delta）**盆地（又称九龙盆地）位于印度—支那的东南部，横跨巽他大陆架，在北纬 8°30′～14°及东经 103°～109°之间（图 2—4—1）。面积 137 650** km²**，其中陆上 96 460** km²**，海上 41 190** km²**。海域水深较浅，小于 100** m**，但其东北面向南中国海张开。**

在这一方向的界限为大陆架上一南北走向的基底凸起，即 Peripheral **洋脊，对应于 2 000** m**等深线；东南面为一基底凸起，即万安海隆，将其与万安盆地分开；西南面另一基底凸起，即呵叻**（Khorat）**海隆把湄公盆地与马来盆地分开。**

陆上，沉积物围绕湄公河及其支流当时的排水系统分布，盆地的沉积物延伸至柬埔寨大湖（Tonle Sap）**区，沉积物厚度小于 1 500** m**，但向三角洲地区厚度增加，据估计可达 5000** m **以上。盆地海上部分沉积岩厚度最大，大多数的勘探工作也集中于海域，湄公河将其携带的沉积物卸载到一受东西向和北东—南西向断层限制的裂谷复合体内，该裂谷系发育于南中国海盆地的边缘。海域内沉积岩的最大厚度为 3 000～9 000** m**，时代从晚始新世至近代（表 2—4—1），但箕状断陷较深处的底部沉积物的时代尚未确定。**

如果该盆地海域的形成是以南中国海的海底扩张为先驱的话，那么裂谷开始时古新世至晚始新世及相应的同生裂谷期沉积物应该存在。相应地，如果盆地的形成机制涉及到板内拉张或挤压的话，那么就应有裂谷开始时的晚始新世或更年轻的沉积及相关沉积。盆地的陆上分布区走向为北西—南东，从陆到海为一个明显的正交到北东—南西向裂谷系。陆上盆地的发育可能与板内拉张或挤压有关，此拉张或挤压可能受控于沿湄宾（Mae Ping）**和头顿**（Vung Tau）**断层的张扭运动。**

一、区域地质

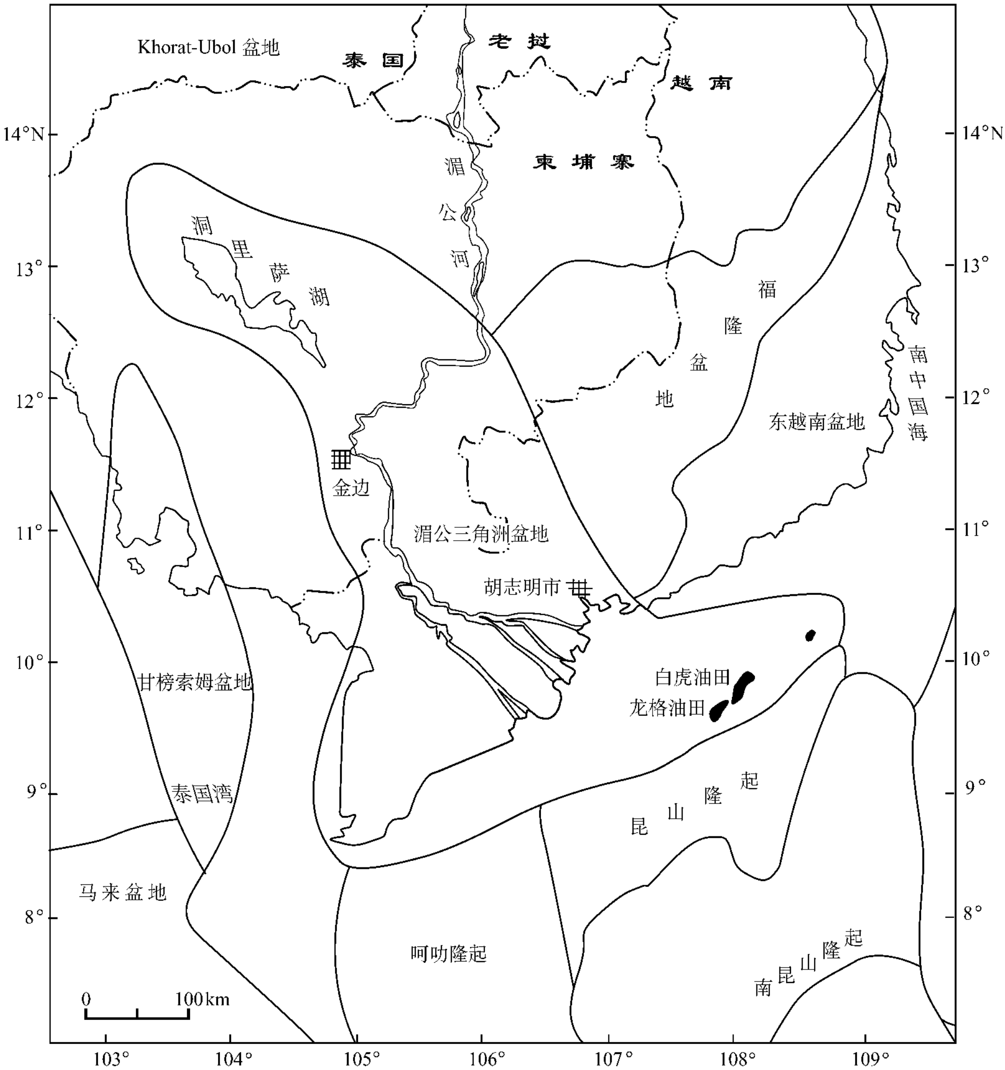


图 2—4—1　湄公三角洲盆地位置图（**引自** Ray Shaw，Jeremy Benton，**1993**）

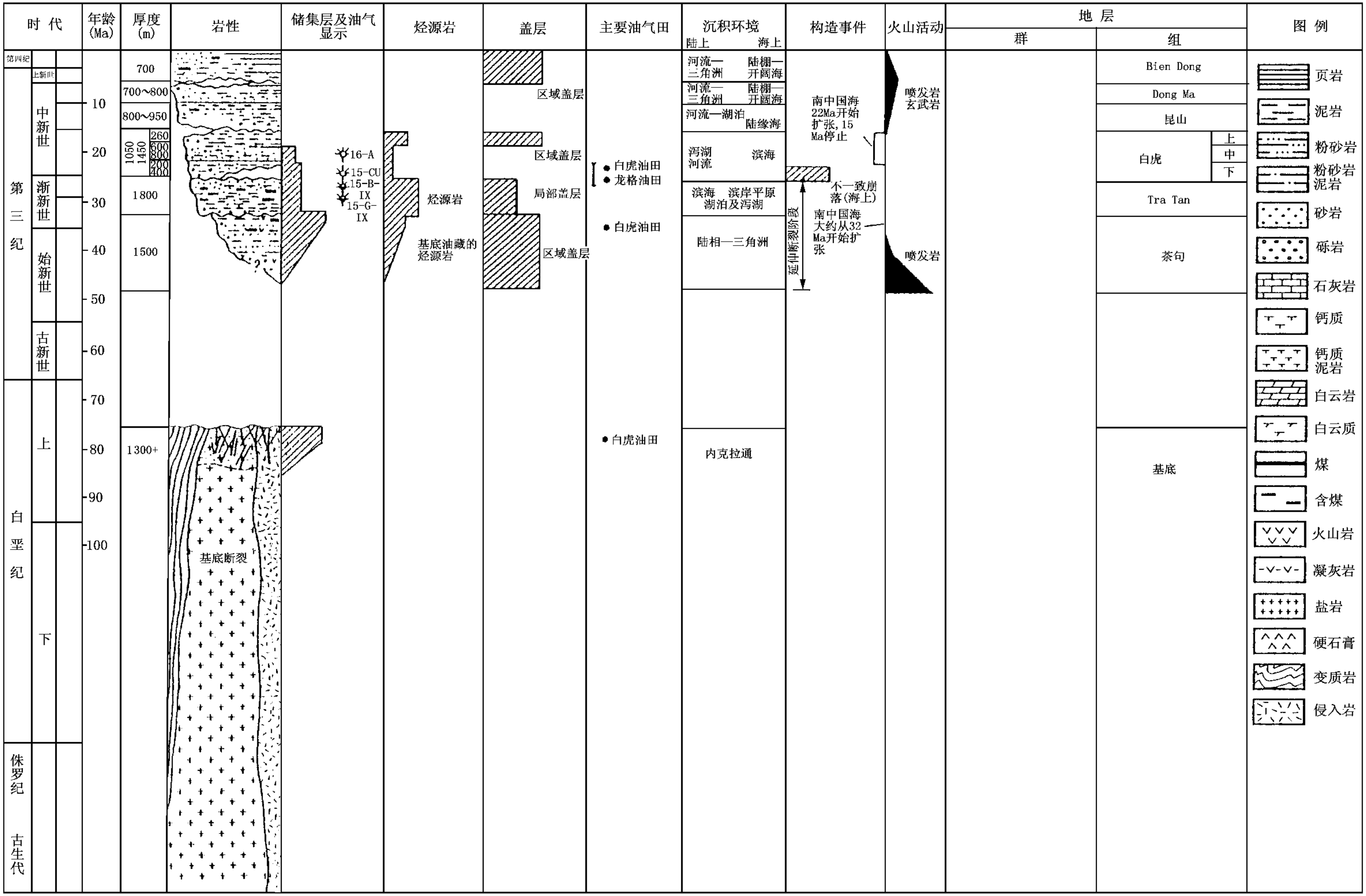
1. **盆地演化**

1）前裂谷基底形成期：晚古生代至白垩纪

盆地的基底由上古生界至白垩系组成。盆地的海域钻遇了古生界花岗岩、中生界闪长岩、微晶花岗岩和流纹岩，白虎（Bach Ho）（**也称白荷**）**和龙格**（Rong）**油田的花岗岩、花岗闪长岩和石英花岗岩的产状表明盆地海域的基底主要由年龄为 97—178** Ma（**中白垩世至中侏罗世**）**的酸性岩浆岩组成。钻井控制区进一步表明有些花岗岩和花岗闪长岩发育由碎裂带、糜棱岩化带及淋滤带组成的风化带**（**风化壳**），**厚度可达数百米。这些带，即风化带已证实为很重要的次生孔隙发育带**（**如白虎油田**）。

陆上，盆地的南北部可见石炭系—二叠系和三叠系变质沉积岩露头，湄宾断层附近有三叠系基性侵入岩出露地表。

表 2—4—1　湄公三角洲盆地综合地层表（引自 Ray Shaw，Jeremy Benton，1993）



2）**拉张期—裂谷初期及裂谷期：始新世至渐新世**（56.5—23.3 *Ma*）

最初的拉张和基底下陷的第一个阶段始于始新世，可能为晚始新世。Soi－1X（Wolf）**井钻遇了厚约800** m **主要由红层组成的岩石，前苏联地质学家认为这是始新世地层。海域断层下滑发生于一中央地堑复合体，该地堑东北为印支陆块的潜埋基底，东南为海西期的大叻**（Dalat）**地块和万安海隆的潜埋基底。在该区内，一系列复杂的地垒和地堑沿北东—南西向基底断裂分布，这些断裂发育于盆地西部，一相对年轻的东西向基底断裂控制了该区。在地堑发育区最初发育了早渐新世的冲积扇和河流—三角洲沉积，即茶句**（Tra Cu）**组和上渐新统** Tra Tan **组的河流—三角洲层序。**

3）**热沉降期—裂谷沉积旋回**Ⅰ**期：早—中中新世**（23.3—10.4 *Ma*）

南中国海的海底扩张始于约32 Ma **前，但西南部的湄公三角洲盆地直到22** Ma **前（中新世初期）才开始。当时与此扩张相关的热隆起可能局限在海区并接近南中国海，热隆起导致了某些大地构造反转、剥蚀及不整合的形成，称之为解体不整合面。在构造高点上该不整合面对应于中新统（25** Ma**）底部因海平面升降造成的不整合面。**

在一次全面海侵期间沉积了白虎组，该组可分为3个明显的段，上部以富含 F. Rotalia **化石的海相页岩为主，代表着该盆地海域发生第一次海侵期的沉积。海底扩张终止于大约15** Ma **前，此时板内的应力调整引起了沿湄宾、头顿和三塔山**（Three Pagodas）**断裂带的运动，并涉及到基底构造的再次张扭和压扭活动、盆地陆上部分和海域西部的褶皱。尽管晚新生代在洞里萨湖**（Tonle Sap）**地区湄公河分流前可能有废弃河道和三角洲沉积，但是湄公河的排水系统形成于晚新生代，陆上底部沉积物为当时河流排水系统的产物。芹苴**（Can Tho）**和** Cu Mau **凹陷和** Donnal **地堑可能为沿横推断裂带的拉张地堑，类似于中新世时沿红河断裂左旋运动形成的河内**（Hanoi）**盆地中的那些地堑。15** Ma **前，在越南、柬埔寨和南中国海的大部分地区，出现了张性裂隙系统造成的以玄武岩为主的岩浆侵入。**

4）**热沉降阶段**Ⅱ**—裂后沉积旋回**Ⅱ**期：晚中新世至近代**（10.4—0 *Ma*）

在解体板块后沉积旋回Ⅰ**与**Ⅱ**之间的晚中新世发生了一次短暂的抬升和小规模的挤压，至少在海域是如此。挤压导致了一些小规模的构造反转，尤其是在万安隆起之上。随后，海域和陆上部分都经历了沉降，随着** Bien Dong **组沉积物的向东进积，海域沉积物第一次越过万安隆起进入南万安盆地，从而使沉积物连成一片；除了形成挤压披覆构造外，**Bien Dong **组沉积物几乎未发生构造变形。陆上，围绕当时湄公河的排水系统沉积了一套海退沉积物。5** Ma **前广泛发生的玄武岩侵入达到高峰，证实了拉张和区域性断层下滑的继续进行，对陆上沉积物的主要影响为沉积基准面附近的海平面升降变化。盆地的构造演化及沉积充填参见盆地的地层横剖面图（图2－4－2、图2－4－3）。**

构造方面，在晚始新世至渐新世最初的裂谷阶段，其主要形变为拉张，并表现出旋转、基底断块下沉等；形成的主要构造为正断层、倾斜断块、拉长地垒、犁式生长正断层等。在早中新世的热沉降阶段，主要构造活动表现为盆地范围的下沉，在此期间高角度的基底正断层再次活动，形成的主要构造为正断层、滚动背斜等。中中新世开始的又一次拉张活动中，主要表现为张扭剪切，沿湄宾断裂带发生右旋移动，而沿头顿断裂带则发生左旋移动，形成的主要构造包括花状构造、正断层和逆断层等。晚中新世开始了挤压沉降，在压扭之后为区域性沉降，但局部有隆起，形成的主要构造有褶皱、断层等。经过上述演化形成了盆地现今的构造格局（图2－4－3）。

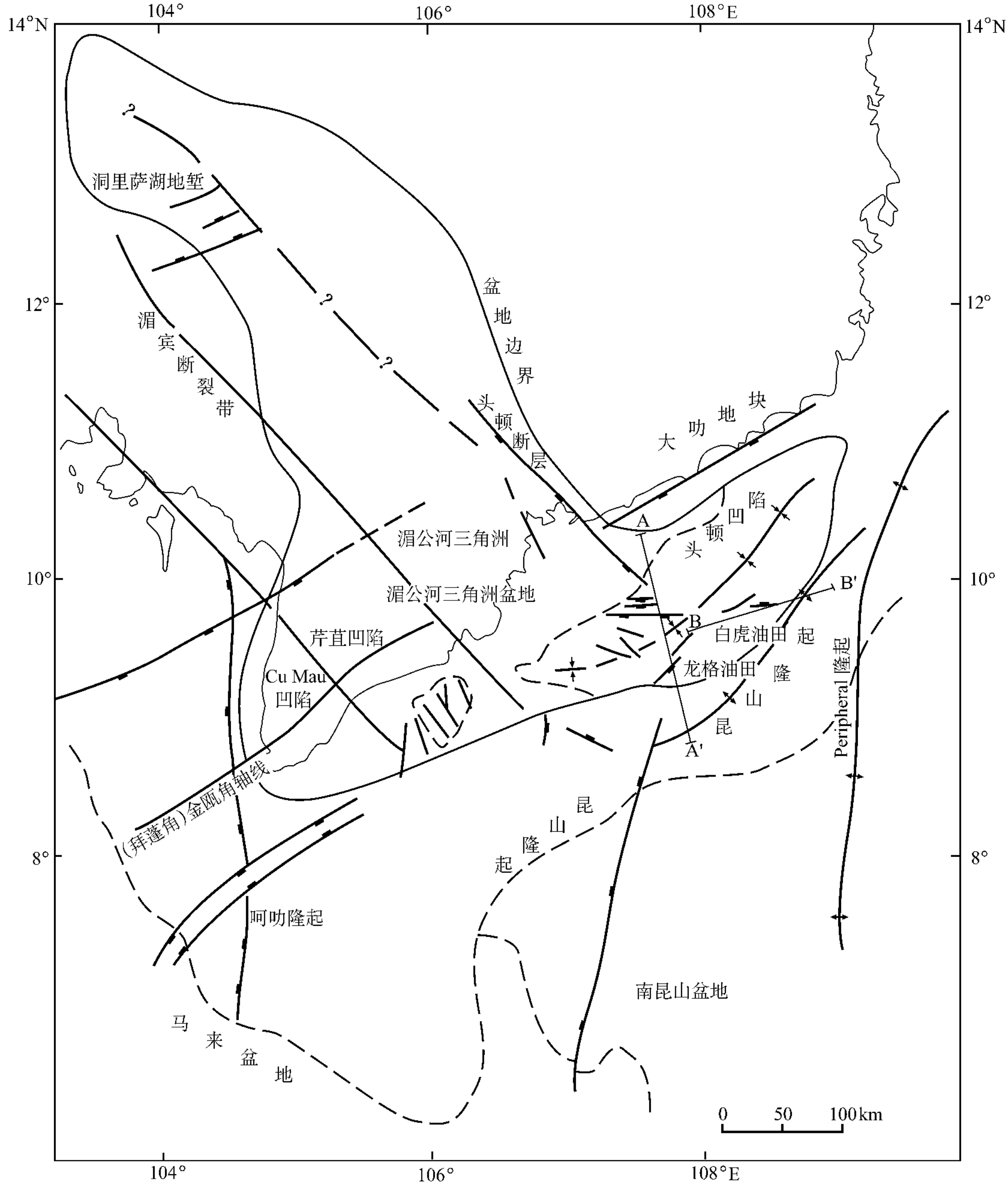


图 2—4—2　湄公三角洲盆地构造纲要图（据 Fontaine，Wockmam，**1978**；Bosum **等，1971 修改）**

2. **地层**

湄公三角洲盆地发育的地层如下（表 2—4—1、图 2—4—3）：

（1）始新统至下渐新统茶句组：为冲积扇和河流—三角洲沉积的碎屑岩，厚约 1 500 m。

（2）渐新统 Tra Tan **组：河流、三角洲、滨浅海、海岸平原、湖相及□湖相的碎屑岩，厚约 1 800** m。

（3）下中新统白虎组：河流、滨浅海、□湖相碎屑岩及海相页岩，厚 1 050～1 450 m。

（4）中中新统昆山（Con Son）**组：河—湖相及边缘海碎屑岩，厚 800～950** m。

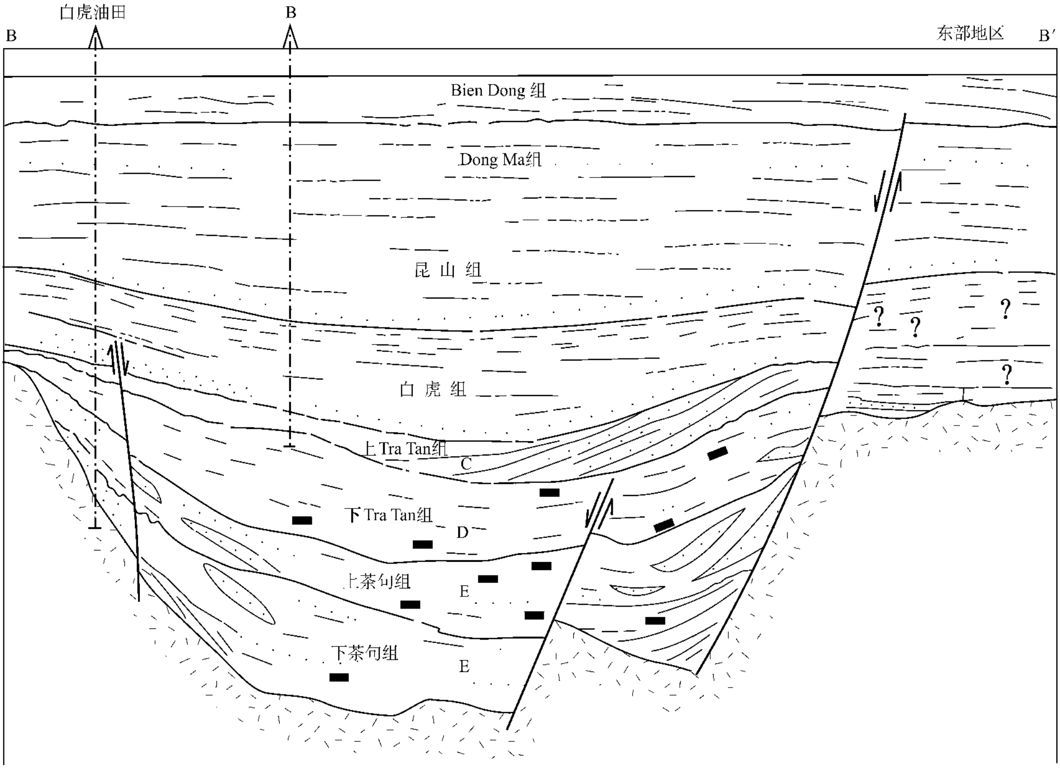


图 2—4—3　湄公三角洲盆地区域横剖面图（**引自** Ray Shaw，Jeremy Benton，**1993**）

（**5**）**上中新统** Dong Ma **组：河流、三角洲、陆棚及开阔海碎屑岩，厚 700～800** m。

（**6**）**上新统至第四系** Bien Dong **组：河流、三角洲、陆棚及开阔海碎屑岩，厚 700** m。

二、大地热流

该盆地地温梯度普遍较高，基底中的酸性深成侵入岩的放射性衰变在局部地区增加了其热流值和地温梯度。在白虎油田地温梯度为 3.34～4.88℃/**100**m，**它是北部高地温梯度区中的最高处**。

三、火山活动

中中新世时，随着南中国海海底扩张的结束，在湄公三角洲盆地发生了扭张断裂作用和玄武质火山活动。在大约 5 Ma **前发生了第二次玄武质火山活动**。

四、含油气性

1. 烃源岩

具有富含有机质的泥岩、页岩和煤的下中新统和渐新统沉积物被认为是该盆地油气的主要源岩。地球化学分析表明主要为Ⅲ**型干酪根，白虎油田的油样分析表明原油来自于陆生高等植物，具有较高的含蜡量和姥/植比。白虎油田渐新统原油含蜡量高**（**27**%），**凝固点高**（**33**℃），**密度中等**（**38**°API），**含硫量低**（**0.03**%～**0.05**%）。**第四系、上新统、中—上中新统沉积物的有机质含量太低或极不成熟，因此，不能构成有效烃源岩**。

上渐新统 Tra Tan **组的红树泥岩、滨海及河流相页岩为最好的烃源岩，其平均总有机碳含量**（*TOC*）**为 1.6**%。**地球化学分析表明这些泥、页岩是白虎油田附近下中新统白虎**

组砂岩中石油的烃源岩。

在15A和龙格构造钻遇的烃源岩腐殖质含量更高，而在15C和白虎构造钻遇的烃源岩腐泥质含量高。中部和东北部的油气资源潜力更好，但证据并不很充分；在白虎构造，6号井和2号井的氢指数分别为56和81，而有机碳含量（*TOC*）为0.8%（15号井）至0.24%（4号井），向构造以外的地区有机碳含量和氢指数有增加的趋势。这表明在东部相邻的基底凹陷区资源潜力更大，因此，仅依据构造高点上的数井做出的区域资源潜力评价很保守甚至是错误的。成熟度估计表明白虎组仅自上新世之后进入生油窗，生油门限（设R_o=0.5%）在15A－1X为1 600 m，15B－1X为2 200 m，15C－1X为2 000 m。Tra Tan组和茶句组自中新世末期开始生油，R_o=0.7%时，15A－1X的深度为2 400 m，15G－1X为2 700 m，15B－1X为3 750 m，表明局部地温梯度有变化。

该盆地地温梯度普遍较高，基底中的酸性深成侵入岩的放射性衰变在局部地区增加了热流值和地温梯度。在白虎油田地温梯度为3.34～4.88℃/100m，它是北部高地温梯度区中的最高者。在4 400 m深处地温为147℃，这表明下渐新统的沉积物处于生气—凝析油窗内。上渐新统生液态烃的温度范围是100～120℃，晚中新世时进入生油且目前正处于生油窗，这表明在晚中新世或上新世时，已有大量的石油生成并运移至裂缝性基岩之中。

2. 储集层

在中新统、渐新统沉积物和基底中发现储集层，在下中新统白虎组中，单层砂岩可厚达30 m，但一般为5～20 m，例如，在白虎油田和15A－1X井及15B－1X井，这些砂岩已产石油。它们来源于盆地的西边和东边，并在古凸起的翼部作为滩砂或沿岸沙坝再沉积下来。发育于白虎组下段的砂岩，在白虎构造北部的褶隆区厚度可达75～125 m，在白虎构造的褶隆区则达200 m。白虎组下段上部发育了一层横向连续、厚为50～150 m的海相页岩作为这些储集层的盖层。

白虎组的砂岩为黄至褐灰色细到中粒砂岩，且主要由石英（50%～60%）、长石（25%～35%）和云母（5%～18%）组成。上渐新统Tra Tan组砂岩受后生作用的影响发生了很大的变化，粒度中到细，由石英（30%～43%）、长石（30%～47%）和云母（<5%）组成。渐新统及下中新统砂岩的平均孔隙度为15%～24%，平均渗透率为$100\times10^{-3}\mu m^2$。在白虎油田，有50%的储量在裂缝性基岩中，45%在下渐新统中，不到5%在上渐新统和下中新统中。由于古地貌的影响，储集物性变化很大。龙格油田渐新统的储集物性最好，白虎油田次之，而15B构造最差；在15A和15C，渐新统储集物性很差。

茶句组的埋深超过4 000 m时，由于蚀变作用和自生矿物的沉淀，其原生孔隙很少。沸石广泛发育，有时将原生孔隙完全充填。但它仍为有意义的储集层，至少在白虎地区是如此。

基岩中的孔隙空间是由于风化、破裂、沿断层的褐铁矿化及水热活动而形成的，孔隙发育不均。在白虎地区，下界尚不确知，但油/水接触面应与相邻的下渐新统中的油/水界面处于相同的海拔高度，即油藏没有活跃的水驱，而是靠“弹性”驱动。基底风化带超过400 m厚，油藏界于溶解气驱到“弹性”水驱之间，表明仅为附近局部运移。

3. 盖层

主要盖层为：①渐新统：茶句组（或在基底隆起上为Tra Tan组）的页岩和泥岩夹层充当组内盖层和基岩油藏的盖层。②中中新统：白虎组中含*F. rotalia*化石的海侵页岩，为中中新世不整合面到下伏下—中中新统储集层的盖层。在白虎地区，该区域盖层厚226 m，由黑色泥岩组成。在白虎构造西面，岩石中砂质含量增加，因此封盖能力有所下降。

4. 油气生成与运移

在湄公三角洲盆地，油气既发生了侧向运移也发生了垂向运移。成熟度表明埋藏最深的烃源岩的生油及油气运移时间始于晚中新世及上新世；中新统更年轻的烃源岩自上新世进入生油窗，且至今仍在生油并有油气运移发生。

侧向运移受盆地整体形态的控制，通过渗透性碎屑岩输导层从沉积中心向上倾方向运移；但由于茶句组和 Tra Tan 组储集层的连续性和连通性较差，阻止了油气长距离的侧向运移。相反，侧向运移集中于古隆起—输导层可能的沉积物来源区。油气聚集主要分布于沉积中心附近，进一步说明侧向运移的距离相对较短。茶句组和 Tra Tan 组中的主要储集层就像裂缝性基岩一样可能受运移的影响较小，到目前为止，它们与成熟烃源岩并置。

沿与基底有关的张性和同沉积断层面的运移被认为是主要的垂向运移方式，这为主要的渐新统烃源岩与浅部中新统碎屑岩储集层之间提供了联系。上超碎屑岩及基底风化带中的上倾运移为浅层碎屑岩储集层，尤其是盆地边缘及万安隆起上的储集层中充注油气提供了第 2 种途径。基底内部垂向运移的范围尚不清楚，但有资料显示在万安隆起，基底内部垂向运移超过 1 000 m。

碎屑岩层序中和断面上的垂向运移受白虎组上段海相页岩的区域性遮挡；在浅部，上中新统中或 Bien Dong 组底部还有区域性盖层对垂向运移的遮挡。

5. 主要含油气组合

在湄公三角洲盆地的海域已发现 3 种主要的并可作业的含油气组合：①与构造勘探目标有关的下中新统碎屑岩储集层——白虎组构造油气藏；②与构造勘探目标有关的渐新统（至？始新统）碎屑岩储集层——茶句组构造油气藏；③与构造勘探目标有关的基岩储集层—前第三系构造油气藏。

这 3 个含油气组合的构造目标大致吻合，但是，较浅的下中新统圈闭要大些，所以其顶点并不一定能与下面圈闭的顶点相吻合。大多数构造为与基底断裂有关的有效圈闭，它们是披覆构造与以张性正断层为背景的断层闭合共同作用的结果，较浅的下中新统油藏的披覆构造最大。

1）含油气组合类型

（1）白虎组构造油气藏。在 4 个油气田/发现中可见白虎组构造油气藏，其石油储量占该盆地探明可采储量的 24％，天然气占将近 10％。较浅的中新统油气藏包含白虎组，尤其是下部的储集层，含 *F. rotalia* 化石的页岩层既是组内盖层也是区域性盖层。像白虎油田一样，基底断裂延伸至该储集层，为烃类的垂向运移提供了通道。

（2）茶句组构造油气藏。只在 1 个油气田中发现了茶句组构造油气藏，其石油储量占该盆地探明可采储量的 36％，天然气占 43％。将其与 Tra Tan 组分开的不整合底部既是下渐新统茶句组油藏的组内盖层，也是区域性盖层。

（3）前第三系构造油气藏。目前只在 1 个油田中发现前第三纪基底构造油气藏，其石油储量占该盆地探明可采储量的 40％，天然气占 48％。自 1986 年在白虎的基底中发现油气以来，遭受风化的基岩已成为重要的勘探目标；但其分布范围很难确定。白虎油田位于 2 个不同构造区带的边界附近，而该边界沿头顿断裂带的海域部分延伸。如果断裂运动导致岩石破裂并提高基岩的风化程度和增加次生孔隙的话，那么，湄宾和头顿断裂带在海域及万安隆起上的延伸部分为该油气藏的通道。

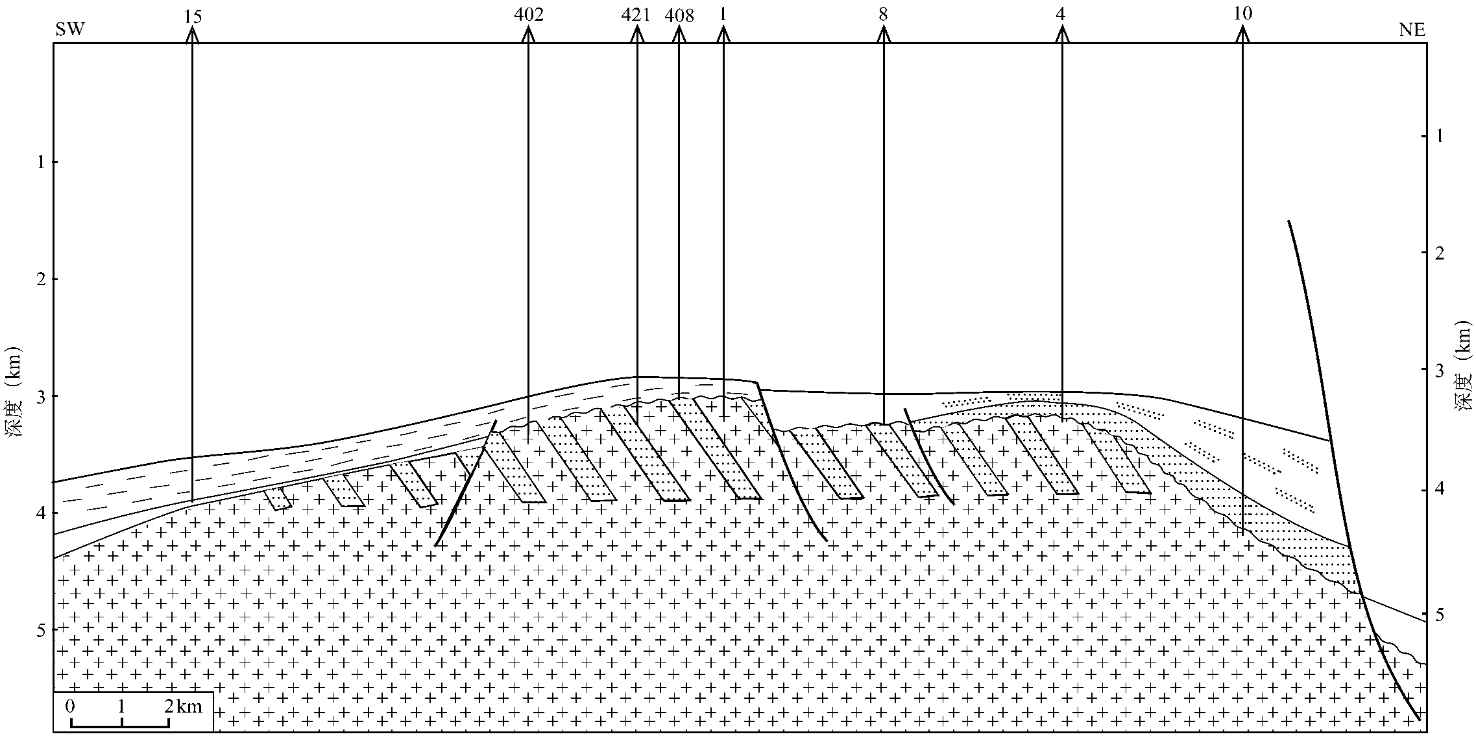


图 2—4—4　**白虎油田横剖面图**（**据** Petro Vietnam，1963）

2）含油气组合的分布

茶句组和白虎组构造油气藏主要分布于盆地的东部、中部和西南部，即主地堑复合体；而前第三系含油气组合分布于主构造带附近。

3）封闭时间

区域性盖层沉积于早中新世晚期，晚中新世生油之前。白虎组的盖层在西部可能无效，因为在该区砂质含量相对较高。区域盖层进一步发育与 Bien Dong 组沉积相吻合，该发育时间在晚中新世至上新世的构造复活期间，对白虎组盖层遭受破坏的程度十分重要。那些在那时遭受构造活动影响的构造可能只能捕获 Bien Dong 组沉积后发生运移的油气。

4）影响油气有效圈闭的因素

区域性盖层沉积于早中新世晚期，上新世 Bien Dong 组沉积之前或之中。就油气保存而言，该区域性盖层发育的时间十分重要，因为晚中新世和早上新世构造再次活动。上、下渐新统在晚中新世开始生成的油气可能散失到 Bien Dong 组沉积之前、构造再次活动之后的含油气系统中；而遭受再次构造活动影响的构造中的油气可能为残留油气，即构造再次活动之后生成捕获的油气。未遭受构造再次活动影响的构造，白虎组中的区域性盖层为其提供了有效的封闭，因为生油在后来的晚中新世才开始，这意味着这些圈闭局部捕获了整个该含油气系统生成的油或气。

6. 含油气系统

湄公盆地中的油气产状为一个相对简单的含油气系统作用的结果，渐新统和下中新统的沉积层序为其提供了烃源岩、许多储集层及油气二次运移的输导层，该系统持续的时间不到 45 Ma。海上，烃源岩完全达到成熟则是在万安组沉积之后；而陆上，该系统形成更晚，在其西面尚有一个可作业的含油气系统需要证实。

油气的横向分布受制于输导层，其连通性较差；而正断层对油气在垂向上的分布起到了积极作用，通过这些断层，油气可二次运移到上部白虎组的储集层中去。尽管该系统也产大量的天然气，但根据烃源岩的性质，该系统偏向于生油。

7. 油气储量及丰度

根据 1993 年中对湄公三角洲盆地所有油气田和发现的统计，其油气最终可采储量分别为液态烃（油和凝析油）501×10^{6} bbl，气 $10\ 500\times10^{8}$ ft^3。油气丰度见表 2—4—2。

表 2—4—2　湄公三角洲盆地油气丰度（1993）

类　　型	液态烃	气	总　　量
油气丰度	3 488bbl/km^2	7.3×10^{6} ft^3/km^2	4 707bbl（油当量）/km^2

8. 主要圈闭类型

湄公三角洲盆地的主要圈闭类型为构造型圈闭，主要发育于白虎组、茶句组和前第三系基岩内，这三层的构造形态基本上是吻合的，但闭合面积不同，高点的位置有所差异；其形成机理都与基底断裂有关（图 2—4—5），而圈闭的形成大多为断层和披覆构造组合而成，断层既起运移通道的作用，也起遮挡作用。

9. 油气田分布

目前由于勘探程度低，在湄公三角洲盆地仅发现为数不多的油气田，如白虎油田、龙格油田和 Jada 油田等，并主要分布在盆地的东南角（图 2—4—1）。

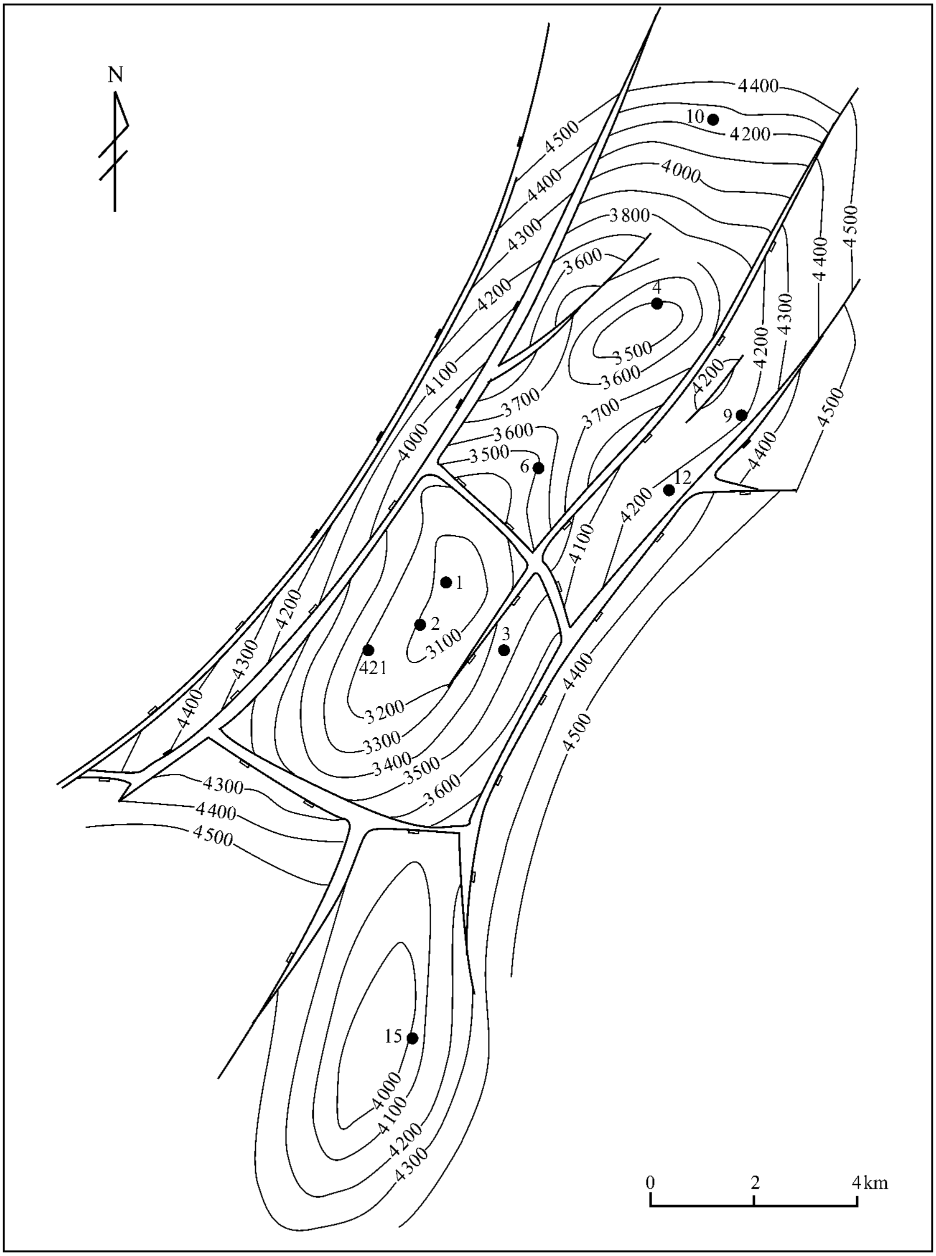


图 2－4－5　白虎油田基底顶面构造等值线图（据 Petro Vietnam，1963）

10. **大油气田与典型油气田（藏）**

白虎油田、龙格油田和 Jada 油田等为该盆地的主要油气田及较大油气田。

白虎油田（图 2－4－5）为该盆地较典型的油田，它与一基底地垒构造相吻合，其长 20 km，宽 5～7 km，总面积超过 100 km²，油气分别储存于 3 个不同的层位：基底、渐新统和中新统。在深处，构造北部发育有下渐新统油藏而在南部缺失；估计该油田的储量为（700～1000）×10^6 bbl，其中 50％在基底，45％在下渐新统，不到 5％在上渐新统和中新统。

11. 勘探开发历程及现状

柬埔寨和越南境内的湄公河三角洲盆地的陆上部分是迄今东南亚地区尚未勘探的最后几个前缘地区之一。盆地的海上部分也仍处于勘探的早期。但在综合分析的基础上，已证实该区具有一定的油气前景。

盆地的陆上部分在1993年末在越南首轮陆上地区准许作业的招标中获准勘探开发。柬埔寨境内部分的盆地区域虽有2块在1992年对外勘探招标，但由于人们对这些地区尚缺乏兴趣以及众所周知的政治原因，其情况仍不清楚。

海上在20世纪70年代中期被允许勘探，但因随后越南的入侵以及美国贸易禁运而中止，至今相继有一些边缘地区被允许勘探。1980年前苏联与越南签订了技术互助协议，通过越南—前苏联石油公司开展勘探开发工作。苏联解体后，该公司成为一个合资公司在此作业。

1960—1970年期间的区域调查第一次揭示了越南南部有相当厚的沉积岩地层。美孚公司承担盆地的综合勘探，确定了一些有利区并钻了初探井，导致白虎大气田的发现。但是，随后的评价工作由于内战而停止。

越南—前苏联石油公司成立后，钻探工作恢复，1982年发现了中等规模的龙格油田。之后，Enterprise 和 Petronas 发现了2个较小的油田。

迄今越南—前苏联石油公司在海上地区共钻9口初探井和一些探井。在陆上部分，20世纪80年代初的报道上表明有2口探井。

盆地的海上部分相对陆上而言是较有利的勘探区，水深小于60 m，且在台风带之外。陆上部分虽道路四通八达，但公路条件差。洞里萨湖周围的广大地区易受季节性洪水影响，但这对旱季勘探并无严重影响。

陆上勘探成本较低，但由于需要来自邻国诸如泰国或新加坡的各种服务而有所提高。

盆地处于开发早期，其海上部分仅有1个油田。越南—前苏联石油公司是盆地内惟一的石油生产单位。开发钻探仅局限于白虎油田，不久龙格也有望投入开发。白虎地区估计现有井100口左右。

五、小结

（1）湄公三角洲盆地初始裂陷可能发生于晚始新世，形成了许多地堑，其中充填了冲积扇、河流—三角洲相的沉积物。随后发生了热沉降，沉积了中新统白虎组的海相砂岩和页岩，中新世中期，南中国海海底扩张结束，在湄公三角洲盆地发生了扭张断裂作用和以玄武岩为主的火山活动。其后于晚中新世发生了一次小的挤压抬升，接着是进一步的热沉降，全盆地沉积了一套碎屑岩，沉积环境从河流—三角洲到浅海。在大约5 Ma前又发生了一次玄武质火山活动。

（2）该盆地的主要烃源岩为 Tra Tan 组的海相泥岩和三角洲相页岩，其平均总有机碳含量（*TOC*）为1.6%。此外，茶句组和白虎组也可能含有烃源岩。由于地温梯度高和沉积速率快，烃源岩的生油高峰期已达到甚至可能已过成熟。

（3）前第三系风化、破裂的基岩为重要储集层，其遭受风化的厚度可能超过400 m，储集了白虎油田三分之一以上的油气。白虎组的沿岸沙坝及滩砂也为该盆地的重要储集层，其位置受古地貌的控制，尽管长石和云母含量较高，其孔、渗仍很好；Tra Tan 组和茶句组也含有一定的储集层，但储集物性较差。风化裂缝性基岩储集层的盖层为茶句组的页岩（茶句组缺失时为 Tra Tan 组）。

（4）白虎组的海侵页岩为另一区域性盖层（表2—4—3）。

表 2—4—3　湄公三角洲盆地生、储、盖层特征

类　型	层　　位	岩　　性	时　　代
储集层	白虎组	砂岩	早中新世
	茶句组、Tra Tan 组	砂岩	始新世至渐新世
	基底	风化裂缝性结晶岩	侏罗纪至白垩纪
烃源岩	Tra Tan 组	泥、页岩	渐新世
	茶句组	泥、页岩	始新世至渐新世
盖　层	白虎组（区域性）	页岩	中新世
	茶句组（组内）	页岩、泥岩	渐新世

（5）该盆地油气的生成和运移主要发生在晚中新世到上新世，垂向运移的通道主要为连接基底的断裂。

（6）构造圈闭多与基底断裂活动有关，披覆构造和断层封闭对形成有效圈闭十分重要；尽管裂谷发育阶段构造就开始形成，但构造圈闭形成的主要时期为晚中新世。前第三系的构造型油气藏储集了该盆地 40％的油和近 50％的气，白虎组的构造型油气藏储集了该盆地 25％的油和 10％的气，这些圈闭都与断层有关，它不仅提供运移通道也起遮挡作用；茶句组的构造型油气藏储集了该盆地三分之一以上的油和 40％以上的气，断层遮挡仍至关重要。

（7）该盆地只有 1 个含油气系统。

（8）该盆地的最终可采储量为：油 501×10^{6} bbl，气 $10\ 500\times10^{8}$ ft^{3}。

参 考 文 献

Areshev E G, Dong T L, San N T, *et al*. **1991.** Composition and structure of South Vietnam Offshore Basement. Proceedings Second conference on Geology of Indochina, **11—13** November **1991**, Hanoi **1**, **404—405**

Briais A, Patriat P, Tapponnier P. **1993.** Updated interpretation of Magnetic Anomalies and Seafloor Spreading Stages in the South China Sea: Implications for the Tertiary Tectonics of Southeast Asia. Journal of Geophysical Research. **98** (B**4**), **6299—6328**

Canh T N. **1988.** The stratigraphy of the Cu Long Basin based on the results of new wells. Petrovietnam Archives, June **1988. 11**

Du Bois E P. **1985.** Review of principal hydrocarbon bearing basins around the South China Sea. Geological Society of Malaysia Bulletin, **18**, **167—209**

Hayashi M. **1988.** The hydrocarbon potential and tectonics of Indochina. Journal of Petroleum Geology, **11** (**2**), **219—231**

Long P H, Hai V N, Lac V N. **1986.** The history of tectonic development of Vietnam and adjacent areas. Proceedings of the First Conference on Geology of Indo—China. **5—7** Dec **1986**, Ho Chi Minh City, **377—388**

Le Dinh Tham. **1986.** Depositional cycles in Mekong Basin and their relation with oil and gas. First Conference on Geology of Indochina, **3**, **1029—1039**

Rodnikova R D. **1986.** Geodynamics and petroleum formation in the sedimentary basins

of southeast Asia. International Geology Review, **28** (**4**), **435－443**

Ru K, Pigott J D. **1986.** Episodic rifting and subsidence in the South China Sea. APEG Bulletin, Vol. **70**, **1136－1180**

San N T, Dong T L, Kim T V. **1991.** Some results of oil and gas exploration and geological structure study in the Mekong Basin. Offshore South Vietnam. Proceedings Second Conference on Geology of Indochina, **11－13** November **1991**, Hanoi, **2. 373－376**

San N T, Tien H D, Chau H R. **1991.** Geothermal conditions of the Bach Ho structure. Proceedings Second Conference on Geology of Indochina, November, **1991**, Hanoi **2**, **412－415**

第五节　南苏门答腊盆地

南苏门答腊（South Sumatra）**盆地几乎全部分布于苏门答腊岛南端的大陆上，仅有约9％延伸到南中国海**（**图 2－5－1**），**其面积 132 660** km^2，**其中陆上 119 970** km^2，**海上 12 690** km^2。**南苏门答腊盆地的南界为巴里桑**（Barisan）**山前的前第三系断裂及隆起基底，北界为巽他陆架；盆地西北面向中苏门答腊盆地开放，但由** Tiga Puluh **群岛将其与中苏门答腊盆地分开；其南缘，由浅水** Lampung **台地将其与西北爪哇盆地相隔。南苏门答腊盆地的基底为前第三系变质岩和岩浆岩，沉积盖层为第三系，第三系不整合于基底之上。该盆地为巴里桑山系火山弧后的一个构造坳陷。该盆地的构造演化史表现为澳大利亚—印度板块向东南亚板块苏门答腊部分的聚敛和静止期相交替。南苏门答腊盆地包括西北部的占碑**（Jambi）**凹陷及东南部的中巴邻旁**（Palembang）**凹陷和南巴邻旁凹陷，后者第三系沉积厚度达 3700 多米。**

一、区域地质

1. 盆地演化

1）前第三纪基底

南苏门答腊盆地的下面为墨吉（Mergui）**和马六甲**（Malacca）**微型板块及** Woyla **地体，后者为遭受过大地构造作用的侏罗纪和白垩纪岛弧火山岩和蛇绿岩。在中中生代的造山运动中，古生代和中生代的沉积岩遭受了变质、断裂和褶皱作用，形成了大型构造体，后来又遭受造山作用后的花岗岩侵位。基底由变质沉积岩**（**如板岩、大理岩、石英岩、千枚岩**）**和岩浆岩**（**如花岗岩、闪长岩、花岗闪长岩、安山岩**）**组成。晚白垩世至老第三纪的拉张及扭曲作用导致弧后裂陷，从而形成了北北西走向、倾斜的地垒、断陷、箕状断陷或凹陷。**

2）早裂谷期：晚始新世至早渐新世（38.6—29.3 *Ma*）

南北向的主拉张构造，包括早第三纪形成的断陷和地垒，对沉积具有重要影响。晚古新世至早始新世时，发生了与扭断伴生的差异抬升。在此运动期间发生了该盆地最初的沉积作用，沉积了上始新统的 Lahat **组陆相沉积，盆地中部发育了淡水至微咸水沉积物，向盆地边缘变为冲积扇和辫状河环境的粗碎屑沉积物。同生裂谷的充填伴随着安山质火山岩，该单元的沉积以页岩夹凝灰质硅质岩和碳酸盐岩薄层为特点，或以“花岗岩”型沉积物夹凝灰岩、粘土岩和煤为特点，巽他盆地和局部基底凸起为其主要物源。早渐新世时** Lahat **组继续沉积，并在现在的苏门答腊地区发生了抬升，致使大部分地区为陆相沉积或遭受剥蚀，从而形成不整合面。**

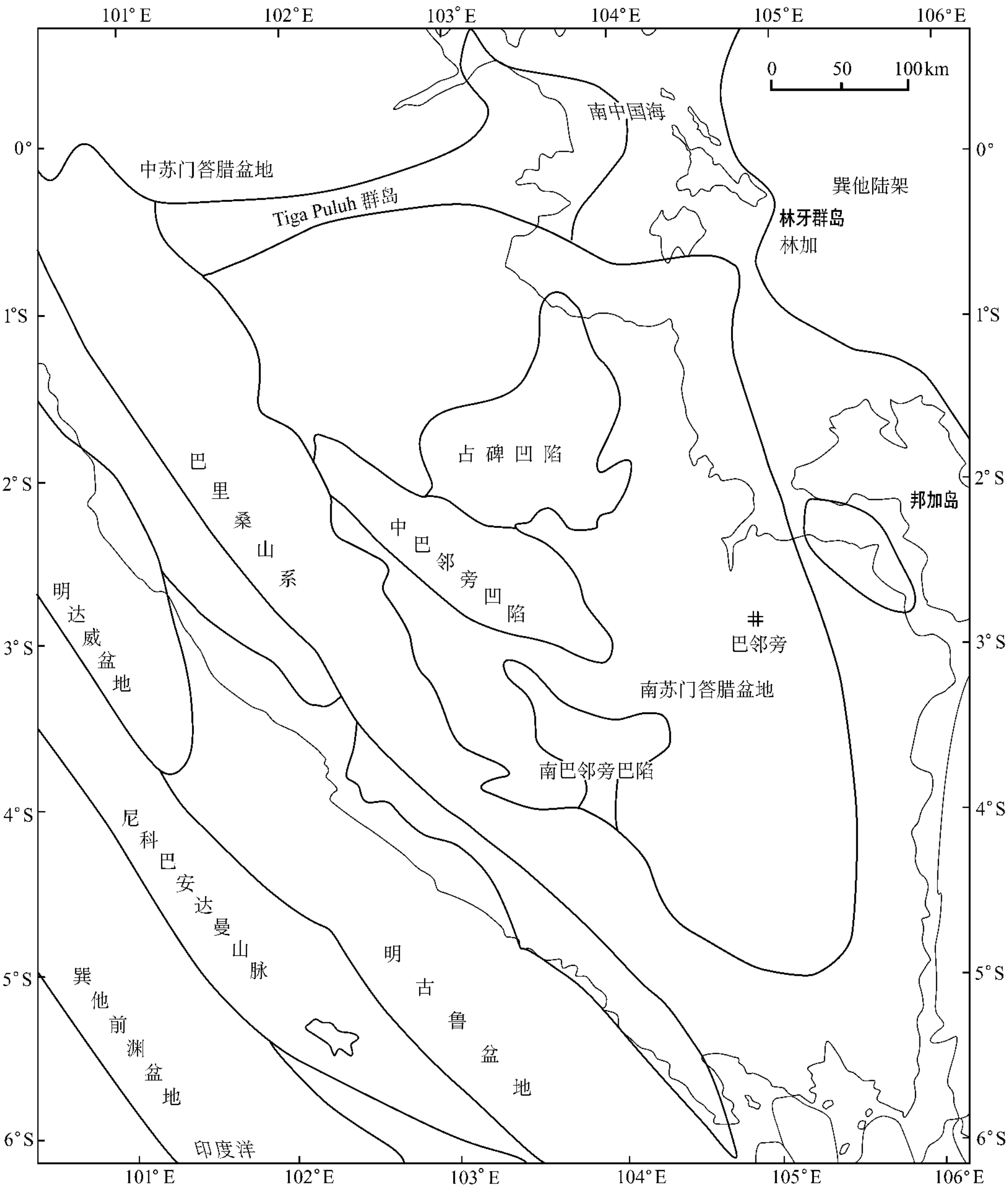


图 2—5—1　南苏门答腊盆地位置图（**引自** Petroconsultants，**1993**）

3）**晚裂谷期及坳陷期：晚渐新世至晚中新世**（29.3—10.4 *Ma*）

中渐新世时由于复活的快速俯冲或全球范围内的海平面下降，该区遭受了剥蚀，从而形成一区域不整合面。晚渐新世时发生了来自西南方的海侵，沉积了海侵序列的 Talang Akar **组，这表明垂向上和横向上沉积环境由陆相变为近岸环境。局部凹陷的底部为冲积扇和辫状河沉积物，向上及沿盆地边缘变为近源三角洲体系。该时期的沉积受构造的强烈影响，且裂谷期的断层样式控制着盆地的沉降。早中新世时，海侵范围进一步扩大，于是，石灰岩开始形成局部碳酸盐岩滩。在盆地的中部和南部，于较高的地台、隆起断块及局部基底凸起之上发育了** Batu Raja **组的碳酸盐岩滩和生物礁建造。但在最大海侵时，大部分地区沉积了** Gu-

mai 组 Globigerina 的泥灰岩，同时海侵淹没了 Batu Raja 组碳酸盐岩建造，在其上沉积了厚层的海相页岩。沿巽他克拉通的边缘，这些页岩横向上过渡为粉砂岩和砂岩。由于海侵非常广泛，致使南苏门答腊盆地、中苏门答腊盆地和巽他盆地全部相连。早中新世晚期的高水位域，在盆地区如 Jambi 凹陷沉积了浊流成因的深海相石灰岩。

4）挤压期：中中新世至今（10.4—0 *Ma*）

中中新世时，印度洋板块重新向南亚板块的苏门答腊段下俯冲导致挤压运动、地壳缩短及刚性基底地块的重新排列。中中新世晚期，巴里桑山系开始其初始抬升，同时伴随有沿岩浆弧的火山活动，沿苏门答腊长轴引发了主要的右旋扭断作用，构造的走向主要为北西—南东向，而这些构造可能是由于早期造山作用形成的软弱面复活所致。断槽变深，塑性沉积岩体褶皱成北西—南东向的雁行褶皱。

这时随着巴里桑山的抬升发生了一次主要的海退，导致明显的岩性变化并形成一个区域性不整合面。这一抬升使区域性斜坡变为向北东方向倾斜，并使火山碎屑物质向巽他地盾搬运，在浅海至近海环境沉积了进积型的 Air Benakat 组，该组不整合于 Telisa 和 Gumai 组的海相页岩之上。海退持续到上新世，沉积了 Muara Enim 组的碎屑岩地层，该组的陆相（沼泽相至陆相）成分明显增加。晚上新世 Kasai 组的非海相沉积取代了 Muara Enim 组，且凝灰质含量增加，该组沉积持续至整个更新世。

第四纪，沿巴里桑山系形成了许多火山，这些构造活动对更新世海平面变化的影响大于冰川作用所引起的海平面变化，第四系主要由冲积、大陆和火山碎屑沉积物组成。

2. 地层

南苏门答腊盆地发育了下列主要的地层单元（表 2—5—1）：

（1）统始新统—下渐新统 Lahat 组。下部为冲积扇和辫状河环境的粗碎屑沉积物，上部为陆相沉积及火山岩。

（2）上渐新统 Talang Akar 组。底部为冲积扇和辫状河沉积物，向上及在盆地边缘变为近源三角洲体系。

（3）下中新统 Batu Raja 组。盆地的中部和南部为碳酸盐岩滩和生物礁沉积建造。

（4）下中新统 Gumai 组。上部为 Globigerina 的泥灰岩和厚层海相页岩，下部为海相石灰岩。

（5）中中新统—晚中新统 Air Benakat 组。三角洲平原—海湾环境沉积的碎屑岩，形成砂泥互层的特点，最大厚度 1 500 m。

（6）上中新统—上新统 Muara Enim 组。该组为三角洲平原相至海陆过渡相的碎屑岩沉积，最大厚度 760 m。

（7）上上新统—更新统 Kasai 组。陆相基性火山碎屑岩，与下伏地层为不整合接触。

（8）第四系。陆相沉积，并夹有火山碎屑岩。

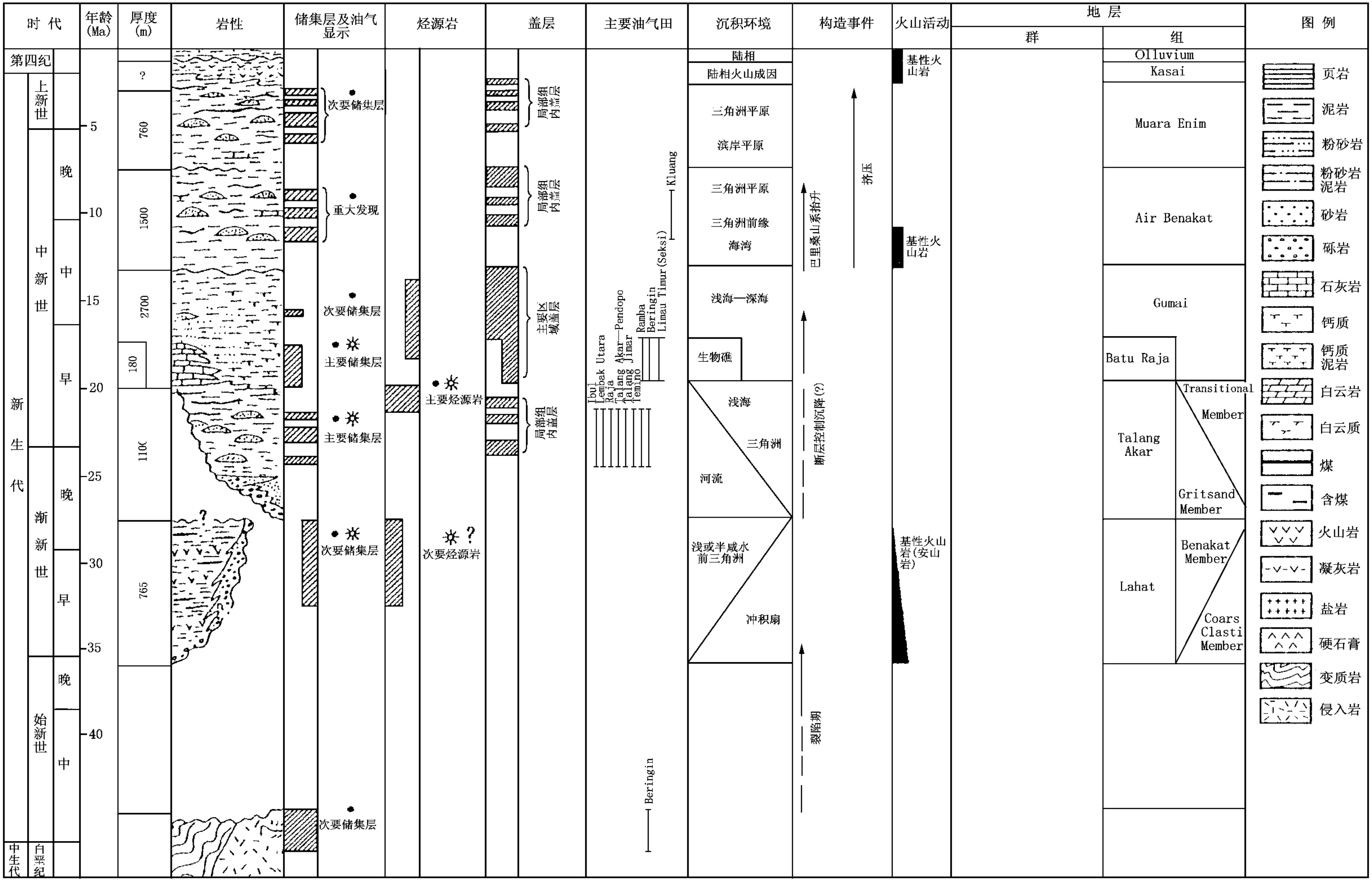
二、大地热流

南苏门答腊盆地的热流值很高，平均为 2.58μcal/cm^2。中中新世构造活动期的热流值可能更高，这可能与地壳变薄有关。由于热流值很高，地温梯度也相应较高，其平均值为 3.49℃/100m，在 Setiti 和 Musi 观测得最高值为 4.2℃/100m。在有岩浆岩侵入的地区，大地热流值可能更高。

三、火山活动

南苏门答腊盆地发生过几次火山活动，进入裂谷期后发生的第一次火山活动是在裂谷形

表 2—5—1　南苏门答腊盆地综合地层表（引自 Petroconsultants，1993）



成初期，并在 Lahat 组中发育了火山岩。中中新世晚期，巴里桑山系开始抬升，并伴随有沿岩浆弧的火山活动。第四纪时又在巴里桑山系形成了许多火山。

四、含油气性

1. 烃源岩

Talang Akar 组上段的三角洲含煤页岩为该盆地的主要烃源岩，其他潜在烃源岩发育于 Lahat 组和 Gumai 组下段。

Talang Akar 组的烃源岩富含Ⅰ型腐泥型干酪根和Ⅱ型干酪根，在 Limau 地区（巴邻旁凹陷）河流—三角洲沉积物可以生烃。在 Raja 油田，Talang Akar 组砂岩为产油层，其中的页岩夹层为局部的烃源岩。

在巴邻旁坳陷 Lahat 组前三角洲的淡水至微咸水沉积物中含有成熟烃源岩，其总有机碳含量为 0.33%～9%，在 Gunung Kemala 地区这些烃源岩生气。

Gumai 组海相页岩总有机碳含量一般较低且不成熟；然而在 Muara Enim 和 Lematang 地区，这些页岩可能为良好的气源岩。Muara Enim 及 Air Benakat 组的生烃潜力较低，其原因是埋深不够。

一般而言，向南苏门答腊盆地的东北缘生烃潜力变差。一方面是因为页岩相变为砂岩；另一方面是由于埋藏深度变小，局部范围内由于火山碎屑岩含量增高而生烃潜力变低。在 Tebo 凹陷 Gumai 组的情况便是如此。

常规烃源岩分析表明南苏门答腊盆地发现的大多数石油来源于植物成因，烃源岩主要为滨岸沉积物，石油一般为蜡质油，且凝固点高。Kingston（1988）认为 Batu Raja 油藏中发现的天然气可能为来自于未成熟烃源岩的生物成因气，或少量来源于生油窗内的成熟烃源岩，而不像来源于过成熟的烃源岩。

Kingston（1988）认为该盆地的平均地温梯度为 2.14℃/100m 左右。其沉降速率为 128 m/Ma，他估计沉积物的热成熟顶面埋深为 1 980m（6 500ft），而过成熟的沉积物顶面埋深为 3 660 m（12 000ft）。

在岩浆岩侵入到离地表几千米的地区，烃源岩的成熟度更高，此种情况可能存在于 Lampung 和 Sukadana 凸起，但其范围尚不清楚。

2. 储集层

Talang Akar 砂岩和 Batu Raja 石灰岩为主要石油勘探目标，在 Muara Enim 组和 Air Benakat 组也发育有重要的储集层，前第三纪基底和 Lahat 组为次要勘探目标。

在 Kluang 油田的白垩系石灰岩（Kluang 组）中发现了前第三纪基底储集层，在 Kluang 地区也有前第三纪基底储集层，这些储集层由裂缝性花岗闪长岩和石英岩组成，且一般与早第三纪造山运动中发育的、后来又在上新世—更新世造山运动中复活的断裂系统有关，这些断裂系统提高了裂缝的孔隙度和渗透率，储集层必须与作为烃源岩的 Talang Akar 组直接接触才能形成油气藏（表 2－5－2）。在强烈的断裂区，如 Lematang 和 Tanjung Miring 地区，储集层的孔隙度可能高达 50%，ASD－1 井测试日产油量高达 1 824bbl，BRG－4 井为 88bbl，BRG－7 井仅为 5.8bbl（Sardjito 等，1991）。

表 2－5－2　各层位油气储量

层　　位	油（10^6 bbl）	气（10^9 ft^3）
上渐新统—下中新统（Talang Akar 组）	1 557	3 039

下中新统（Batu Raja 组）	212	2122
中中新统—上中新统（Air Benakat 组）	382	391
上中新统—上新统（Muara Enim 组）	110	67
其　　他	100	197
总　　量	2 361	5 816

Lahat 组的储集层因沉积于冲积扇和辫状河环境，则由分选很差的角砾状粗砂岩组成，砂体向基底凸起尖灭，并由上覆页岩封盖。

Talang Akar 组砂岩储集层由点沙坝、辫状河、曲流河、三角洲和滩砂沉积物组成，Talang Akar 组含有许多不连续的砂岩透镜体，可能为河流或三角洲环境的沉积产物。这些砂岩为南苏门答腊盆地最好的储集层，其孔隙度为 15%～23%，前第三系的古地貌控制了 Talang Akar 组的沉积，河流和滩砂沉积均向基底凸起尖灭。

Batu Raja 组为一碳酸盐岩单元，主要为不连续延伸的生物礁，它们通常产气，但是当其下发育有 Talang Akar 组时，也产油。其储集层的次生孔隙很发育（平均孔隙度为 20%），但垂向上渗透率变化很大。这些储集层发育于盆地的中部和南部。Air Benakat 组和 Muara Enim 组中的储集层为浅海和近海环境中沉积的海退砂岩。

3. 盖层

南苏门答腊盆地的主要盖层如下：

（1）上渐新统—下中新统（Talang Akar 组）：页岩夹层，为 Talang Akar 储集层的准区域性组内盖层。

（2）下中新统（Batu Raja 组）：侧向等时性页岩，为 Batu Raja 储集层的局部盖层。

（3）下中新统—中中新统（Gumai 组）：页岩和粘土岩，为 Talang Akar 和 Batu Raja 储集层的区域性盖层。

（4）中中新统—上中新统（Air Benakat 组）：页岩夹层，为 Air Benakat 储集层的准区域性组内盖层。

（5）上中新统—上新统（Muara Enim 组）：页岩夹层，为 Muara Enim 储集层的准区域性组内盖层。

4. 特征构造

南苏门答腊盆地经过这 2 次大的构造运动形成了现今的构造格局（图 2－5－2），因此，该盆地有 2 种明显不同的构造样式。

（1）晚白垩世至始新世的弧后拉张，由此而导致北北西向正断层倾向上的滑动，形成的主要构造包括正断层、倾斜地垒、地堑（断陷）及箕状断陷。

（2）中中新世至今的挤压构造，来自南西—北东向的挤压使断陷期形成的正断层复活并发生斜向反转运动，同时还导致巴里桑山的隆起，形成的主要构造包括高角度逆断层，正、负向花状构造，大型、宽缓、不对称背斜，北西—南东向雁行背斜及单斜构造（图 2－5－3）。

5. 油气生成与运移

南苏门答腊盆地油气运移始于中中新世晚期，此时，富含有机质的下中新统 Talang Akar 页岩达到了成熟深度，运移通道为断层面并与基底斜坡的走向垂直。假设 Talang Akar 组为主要的烃源岩层，那么，油气聚集前发生过侧向和垂向运移，垂向运移肯定是沿

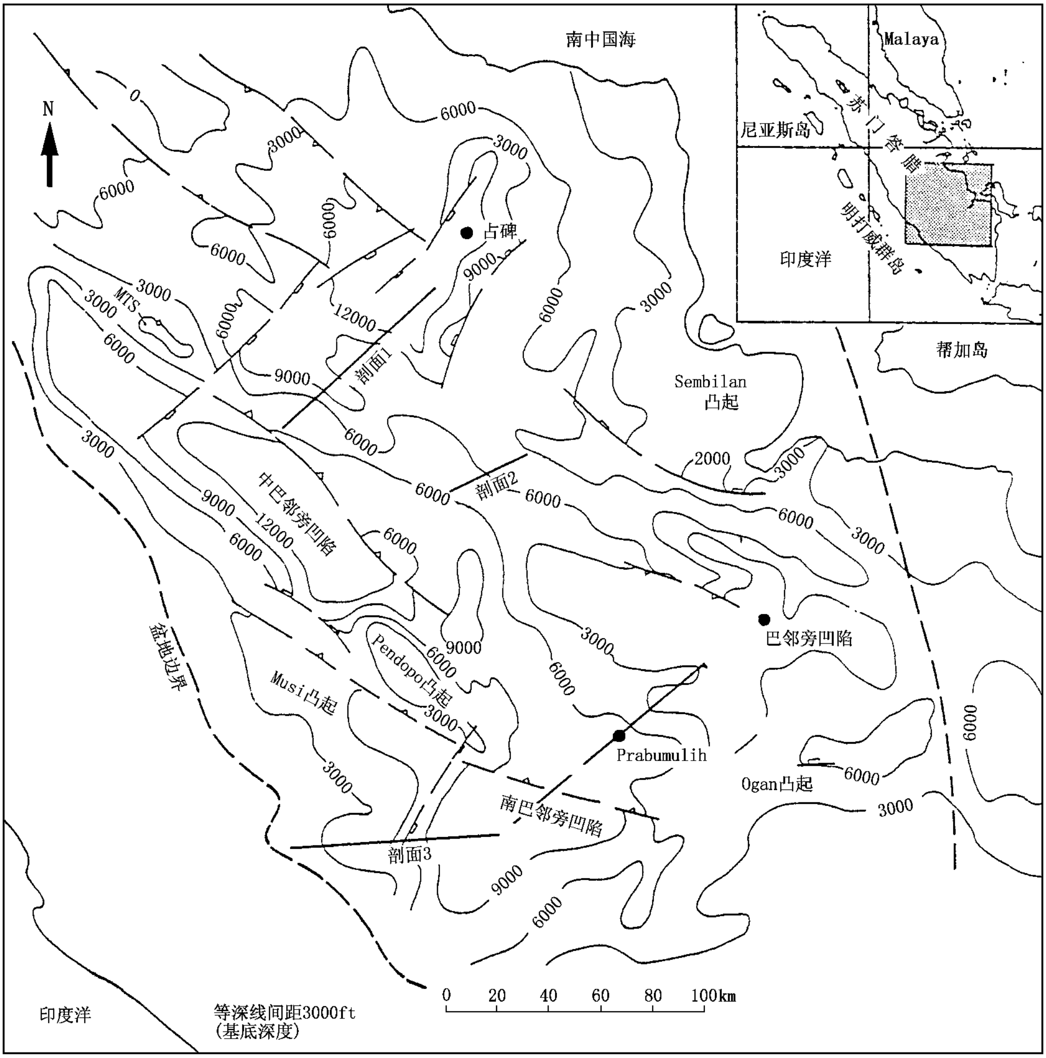


图 2－5－2　南苏门答腊盆地构造纲要图（**引自** Petroconsultants，**1993**）

裂缝和主断裂带进行。当然，Talang Akar **砂岩的存在对垂向运移也会产生重要影响，因为它们可能首先被向上运移的油气所充注。上新世—更新世断裂带至今仍使油气逸散，这可从地表的油苗显示得到印证。**

6. **主要含油气组合**

南苏门答腊盆地存在 4 个重要的含油气组合，即 Talang Akar、Batu Raja、Air Benakat **和** Muara Enim **含油气组合。**

1）**含油气组合类型**

（**1**）Talang Akar **含油气组合。在 70 多个油田和发现中见有** Talang Akar **含油气组合，其油气储量占目前该盆地可采储量的 62％以上，已处于成熟勘探阶段。上渐新统—下中新统储集层为高孔隙度的河流、三角洲和滨岸相砂岩，这些砂岩向基底凸起上倾尖灭形成地层圈闭。前第三系的地貌变化控制着河流砂体的上倾尖灭和滨岸沉积的走向。**

在 48 个油田和发现中见到了 Talang Akar **构造油气藏，估计含该盆地 58％的油、12％**

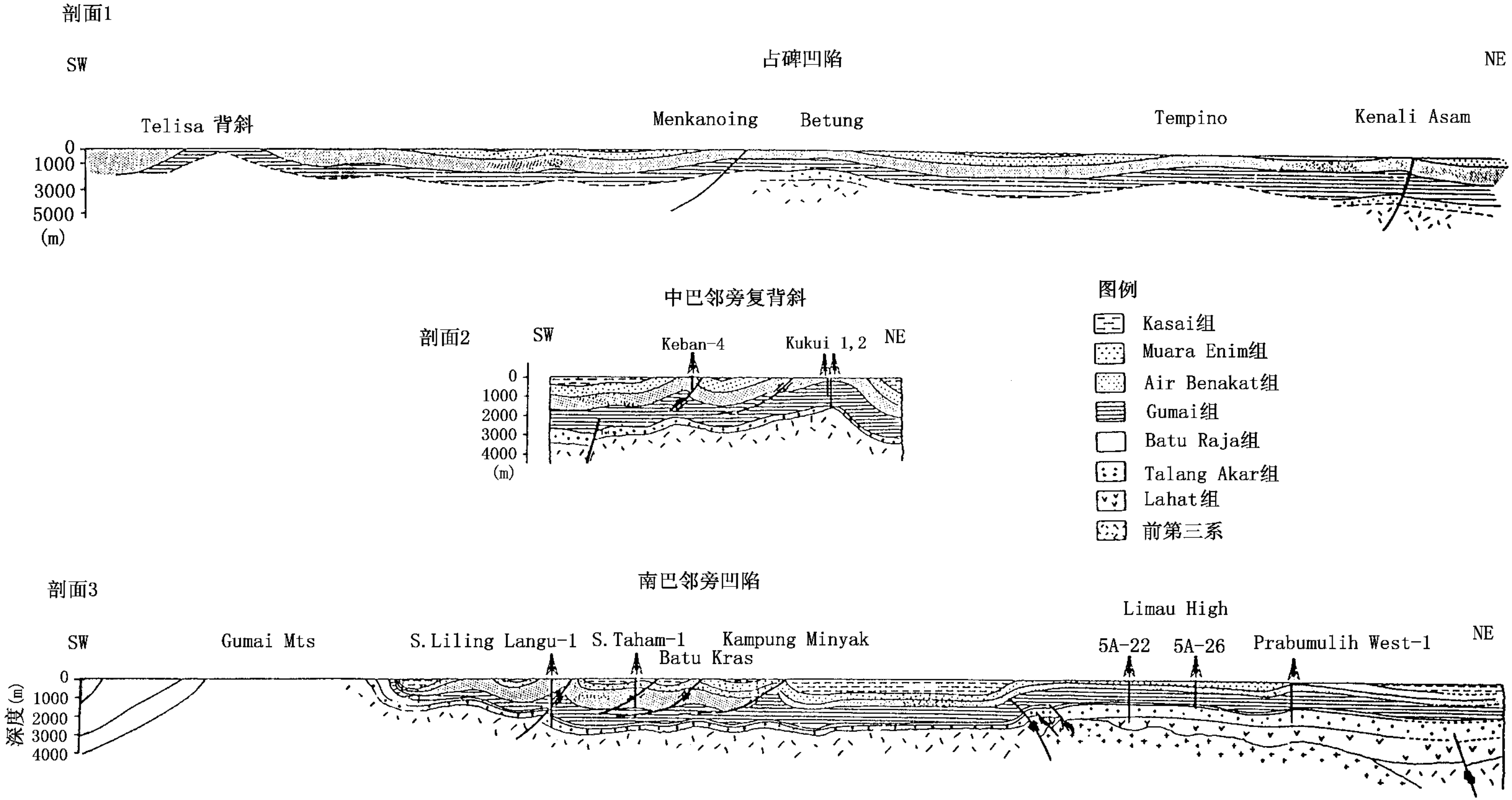


图 2—5—3 **南苏门答腊盆地区域性横剖面图**（**据** Petroconsultants，1989 **年修改**）

的凝析油和32%的气。其圈闭包括穹窿状背斜或不对称背斜（如Baung和Dewa）及断背斜（如Binio、Bentayan、Karagan和Talang Jimar）。

在23个油田和发现中发育了Talang Akar地层油气藏，估计含该盆地8%的油、22%的凝析油和21%的气。油气一般聚集于有砂岩储集层向基底凸起尖灭的背斜和断背斜中（如Betun、Bulu、Candi、Depati、Jirak、Lematang 1和Raja Ramba）。

（2）Batu Raja含油气组合。在51个油田和发现中见有Batu Raja含油气组合，其油气储量占目前该盆地可采储量的17%。其储集层为早中新世生物礁和浅滩石灰岩，一般由Gumai页岩封盖。

其中16个油田和发现中为Batu Raja构造油气藏，含该盆地2%的油、10%的凝析油和16%的气。构造圈闭包括背斜（如Rawa Selatan、Rawa Utara 1、Selo Teras 1）；断背斜（如Tanjung Miring）；次要逆冲构造（如Keri）。

Batu Raja地层油气藏不太常见，仅在11个油田和发现中见到，含该盆地不到1%的油、7%的凝析油和3%的气。

在24个油田和发现中发育了Batu Raja构造—地层油气藏，含该盆地6%的油、42%的凝析油和18%的气。此类油气藏很常见，其圈闭为发育于前第三系构造高点上的或与背斜构造有关的碳酸盐岩建造（如Benakat Timur、Beringin、Musi、Pian、Ramba、Rayu、Supat和Tengah 1）。储集层由Gumai（Telisa）组的页岩封盖。

（3）Air Benakat含油气组合。在49个油田和发现中见有该含油气组合，其油气储量占目前该盆地可采储量的13%。其圈闭主要为构造型。其中Air Benakat构造油气藏含该盆地16%以上的油、7%的凝析油和7%的气。圈闭包括背斜、断背斜、倾斜断块和断层楔（如Kluang）。

（4）Muara Enim含油气组合。在11个油田和发现中发育了此含油气组合，其油气储量占目前该盆地可采储量的4%。其圈闭主要为构造型。

Muara Enim构造油气藏估计含该盆地5%的油和1%的气。圈闭以背斜（可能被断层切割）和断块为主要特点。

（5）其他次要含油气组合。前第三纪基底有次要构造含油气组合，主要发育于裂缝性花岗岩和花岗闪长岩中（如Air Serdang、Kuang、Beringin和Ramba），有的也发育于白垩系石灰岩中（如Kluang），其储量不到该盆地的1%。

在6个油田和（或）发现中发现了Lahat含油气组合，该组合含盆地0.6%的油气储量。

在5个油田和（或）发现中发现了Gumai含油气组合，该组合含盆地3%的油气储量。Gumai构造油气藏含该盆地1.5%的油和一小部分的天然气储量。Gumai构造—地层油气藏含该盆地1.9%的油和1.7%的气储量。

2）含油气组合的分布

Batu Raja含油气组合的分布与前第三系的构造高点或背斜构造有关，这些构造有利于碳酸盐岩的发育。Batu Raja地层油气藏在盆地中部和南部有广泛分布。

Talang Akar和Muara Enim/Air Benakat含油气组合与背斜构造有关，其分布上的差异则取决于Talang Akar砂岩的存在与否，在Talang Akar砂体发育良好的地方，它们首先被向上运移的烃类所充注，那些在Muara Enim/Air Benakat含油气组合中具有最大可采储量的油田均位于Jambi凹陷（如Kanali Asam、Bajubang、Tempino），在该凹陷中Talang

Akar 储集层极不发育甚至缺失；而那些在 Talang Akar 砂体中具有最大可采储量的油田则位于 Palembang 凹陷（如 Benakat、Limau、Talang Akar—Pendopo、Talang Jimar）。

3）封闭时间

Talang Akar 储集层在其中的页岩夹层沉积后不久及后来的上覆 Pendopo 或 Gumai 页岩沉积后即被封闭。

Batu Raja 储集层在其侧向同时代的页岩沉积后不久就被封闭和被 Gumai 页岩封盖。

Air Benakat 和 Muara Enim 储集层被其中的页岩夹层封盖，此盖层可能没有 Talang Akar 和 Batu Raja 储集层的盖层那么有效，这是因为在上新世至更新世的构造运动中它们遭受过强烈的破裂。

4）影响油气有效圈闭的因素

（1）油气生成：中中新世至今。

（2）圈闭形成：断块圈闭形成于晚白垩至始新世，地层圈闭则为晚渐新世至上新世，背斜圈闭形成于中中新世至上新世。

（3）最早封闭：Talang Akar 储集层最早封闭时间是晚渐新世，Batu Raja 储集层为早中新世，Air Benakat 储集层为中中新世，Muara Enim 储集层为晚中新世。

当油气开始运移时，Talang Akar 组和 Batu Raja 组的地层圈闭已经形成，但油气开始生成时，Air Benakat 组和 Muara Enim 组的构造圈闭和最早的封闭尚未完成，因此一定有大量的油气发生了逸散。

7. 含油气系统

南苏门答腊盆地只有 1 个含油气系统，Talang Akar 组提供了主要的成熟烃源岩和最重要的储集层。Batu Raja 组、Air Benakat 组和 Muara Enim 组提供了其他较重要的储集层及生烃所需的大部分上覆地层。

该含油气系统持续的时间从 35Ma 前（Talang Akar 组开始沉积时）至今，如果把前第三纪基底的潜在储集层也考虑进去的话，则持续时间会更长，从 65Ma 前（裂陷开始时）至今。

假定第三纪的地温梯度和沉降速率恒定不变，那么油气生成和运移则从中中新世开始，即从富含有机质的 Talang Akar 组进入生油窗开始。那时，南苏门答腊盆地的主要储集层（Talang Akar 组的砂岩储集层和 Batu Raja 组的石灰岩储集层）已经形成。然而，中—上新统 Air Benakat 组和 Muara Enim 组的砂岩储集层尚未沉积，故它们不能捕获最早生成的油气，而且油气的生成和运移也并不完全与背斜圈闭的形成相吻合，因此有数量可观的油气逸散。

Batu Raja 组中的天然气可能为生物成因气，这些气可能来源于近期的未成熟沉积物或（可能性较小）生油窗中成熟的烃源岩，而不是过成熟的烃源岩（Kingston，1988）。

在南苏门答腊盆地盖层不是主要问题，这是由于第三系以泥质沉积为主之故。Talang Akar 组储集层的盖层为本组的页岩夹层和上覆的 Pendopo 或 Gumai 页岩；Batu Raja 组储集层被侧向同时代的页岩封闭和 Gumai 页岩封盖；Air Benakat 组和 Muara Enim 组的储集层由本组页岩夹层封盖，但这种封盖并非完全有效，地表的油苗表明圈闭有漏失，这是由于 Talang Akar 组和 Batu Raja 组在上—更新世的构造运动中遭受强烈破裂之故；这也表明生油仍在进行而储集层已被充满至溢出点。近地表的构造形成于上—更新世的扭断过程之中，深部构造形成于以前的构造运动，且沿一大的正断层分布，深、浅层含油构造可能需要不同的勘探方法。

8. 油气储量及丰度

对南苏门答腊盆地共发现油气田172个，根据1992年中的统计，其最终可采油储量为2 333.5×10^6bbl（约3.4×10^8t），凝析油27.5×10^6bbl，气58 155×10^8ft³（约2 154×10^8m³）。南苏门答腊盆地的油气丰度见表2—5—3。

表2—5—3　南苏门答腊盆地油气丰度（1992）

类　　型	油及凝析油	气	总　　量
油气丰度	17 800bbl/km²	44×10^6ft³/km²	25 100bbl（油当量）/km²

9. 主要圈闭类型

南苏门答腊盆地的主要圈闭类型为构造圈闭，包括背斜（穹窿状和非对称状）、断背斜等，在各层位均有发育，但在Talang Akar组最为发育。此外构造—地层复合圈闭也较发育，主要为背斜或断背斜与砂岩尖灭或生物礁构成。单纯的地层圈闭不太发育，主要见于Batu Raja组。

10. 油气田分布

南苏门答腊盆地油气田主要分布于巴邻旁凹陷和占碑凹陷（图2—5—4）。

11. 大型油气田和典型油气田（藏）

南苏门答腊盆地共发现油气田172个，总可采油储量为2 333.5×10^6bbl（约3.4×10^8t），凝析油27.5×10^6bbl，气58 155×10^8ft³（约2 154×10^8m³），每个油气田平均油气储量分别为14×10^6bbl和338×10^8ft³（约12.5×10^8m³），因此油气田都不大（表2—5—4）。

表2—5—4　南苏门答腊盆地较大油气田油气可采储量

油 气 田	油（10^6bbl）	凝析油（10^6bbl）	气（10^8ft³）
Benakat	150	0	0
Ibul	25	0	5 000
Limau Niru	53	0	800
Limau Tengah	56.4	0	750
Limau Timur	76.7	10	1 100
Talang Akorpedopo	370	0	3 000
Talang Jimar	180	0	1 500
Talang Tiga	60	0	0
Jirak	60	0	0
Lembak Utara	0	0	5 000
Raja	40	0	2 000
Beringin	0	10	5 000
Hijau 1	50	0	700

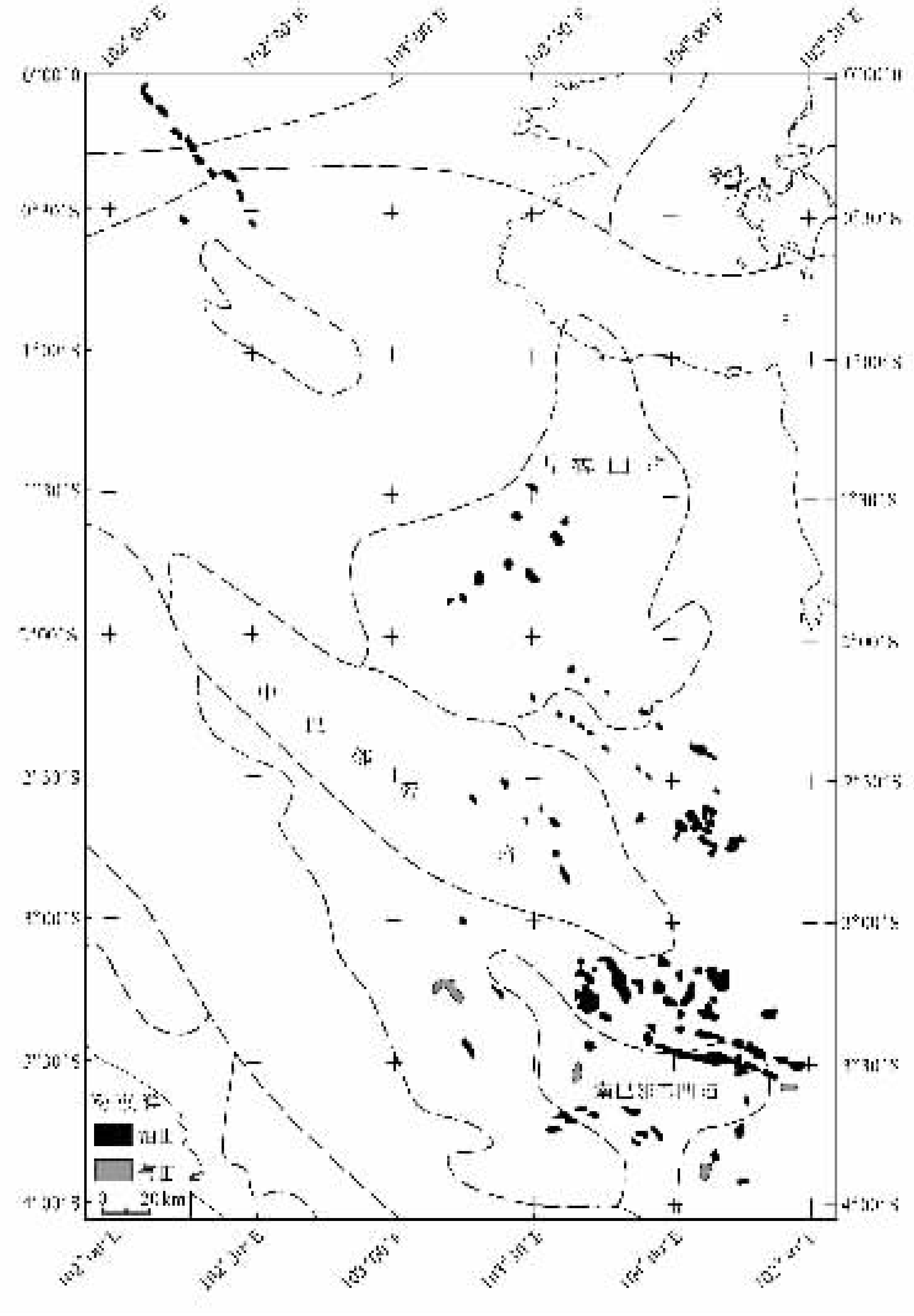


图 2—5—4　南苏门答腊盆地油气田分布（**引自** Petroconsultants，**1993**）

Ramba	**64**	**0**	**430**
累　　计	**1 185. 1**	**20**	**37 980**

前已述及，南苏门答腊盆地圈闭类型以背斜和断背斜为主及部分为构造—地层圈闭；其

典型油气田也是以此为特征。Raja 油气田（图 2－5－5）为一与基底有关的背斜—地层圈闭，砂岩储集层向基底凸起尖灭，构成圈闭；该油田的储集层以 Talang Akar 组砂岩为主，其油气储量分别为 40×10^6 bbl 和 $2\ 000\times10^8$ ft^3（约 74×10^8 m^3）。Bentayan 油田为断背斜圈闭构成（图 2－5－6），其储集层为 Talang Akar 组砂岩，油储量为 12×10^6 bbl。

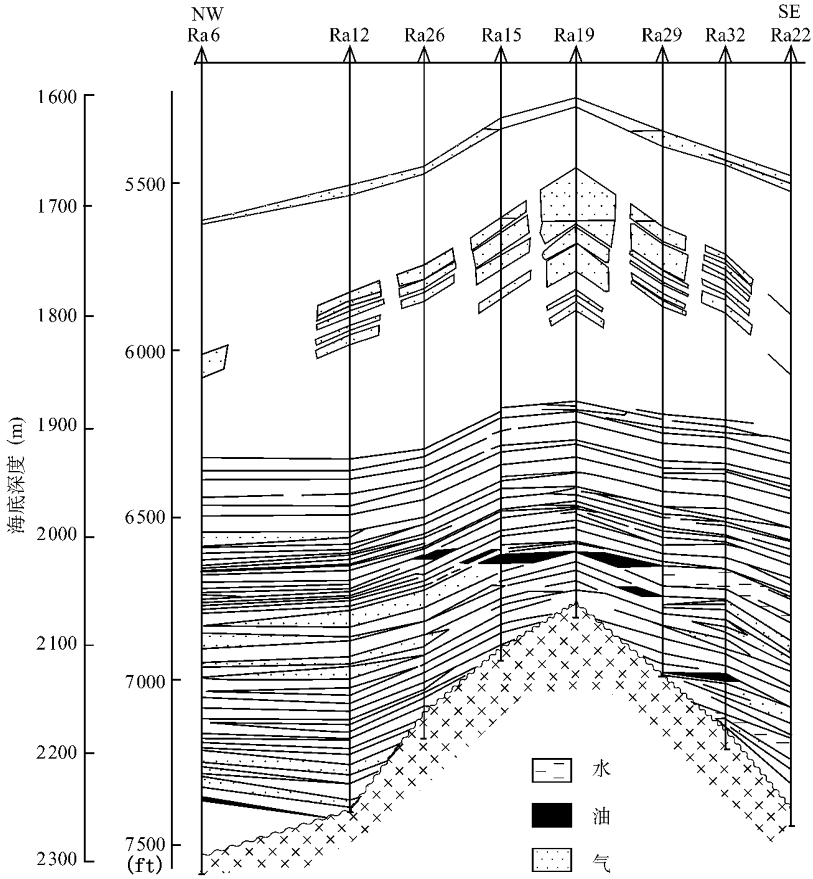


图 2－5－5　Raja 油田横剖面图（据 M. Nahir Basuni，1978 年修改）

12. 勘探开发历程及现状

盆地陆上部分属于中等勘探程度，海上部分属尚待勘探的新区，而以陆上最有远景。陆上面积 119 970 km^2，发放的勘探许可证区均在陆上，占 91 452 km^2。勘探历史已有 40 年，完成地震勘探 7×10^4 km（其中，海上 535 km）。总计打预探井 357 口、详探井 137 口，每口预探井控制面积 371 km^2。到 1991 年底，打开发井 1100 口。陆上有 67 个生产油田，日产油 7808 t，储采比 27。

盆地首次发现石油是在 1896 年，1922 年发现最大的 Talang Akar—Pendopo 油田，石油储量 $5\ 070\times10^4$ t，1971 年发现最大气田 Ibul，天然气储量 142×10^8 m^3。

盆地探明石油储量 3.23×10^8 t（1990 年），剩余可采储量 $7\ 700\times10^4$ t。

五、小结

（1）南苏门答腊盆地为一弧后裂谷盆地，大约在晚白垩世至早始新世之间由于板块聚敛

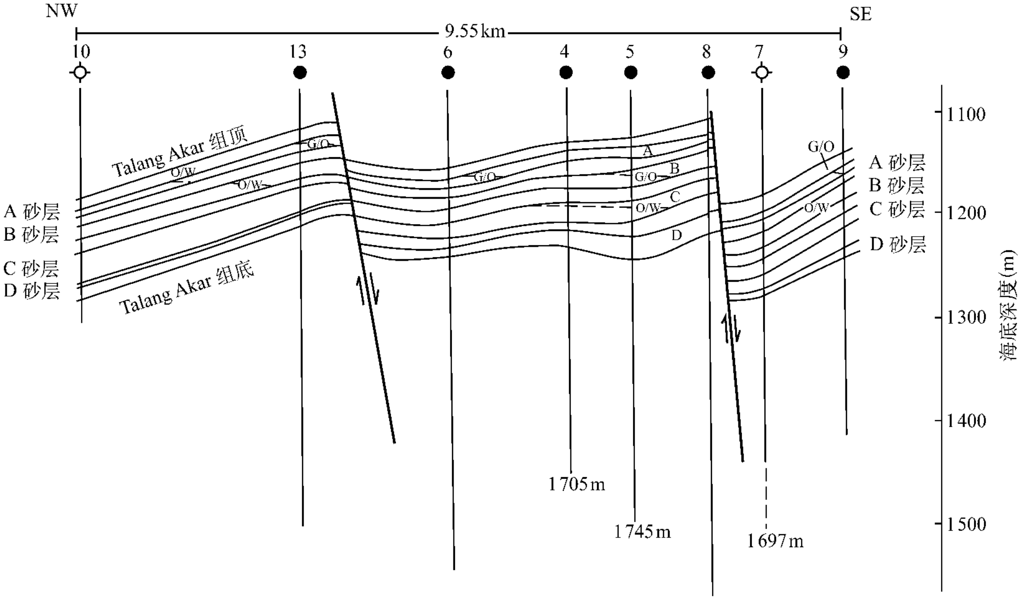


图 2-5-6 Bentayan **油田横剖面图（引自** Petroconsultants，**1989）**

产生一系列地垒、地堑和半地堑，在此基础上转化为坳陷型盆地，于始新世至中中新世之间沉积了一套海侵地层，随后于中中新世至上新世之间沉积了一套海退地层。古基底地貌和构造作用控制了其沉积格局，在基底凸起和台地上广泛发育了生物礁建造，为后来生物礁地层圈闭的形成提供了基础，而在低洼处沉积了海相石灰岩和页岩，为生油提供了物质基础。

（2） Talang Akar **组和** Gumai **组的近海沉积物为最好的烃源岩，自中中新世至今一直在生烃。由于该盆地的地温梯度和热流值较高，因此，烃源岩在沉积后不久便成熟并生烃。这种高热流值一方面与地壳减薄有关，另一方面可能与火山活动有关。**

（3） Talang Akar **组的砂岩和** Batu Raja **组的石灰岩为最好的储集层，其他层位尚发育一些次要储集层。**

（4） Gumai **组页岩和粘土岩为本区重要的区域性盖层，其他组内还发育有局部盖层。**

（5） Talang Akar **含油气组合和** Batu Raja **含油气组合为最重要的含油气组合，储集了该盆地大部分油气。**

（6）该盆地最常见的圈闭为构造型圈闭，其次为构造—地层复合圈闭，单纯的地层圈闭并不常见。由于圈闭的形成和油气生成不是完全匹配，因而，有一部分原油在某些构造圈闭形成前就散失了，这是东南亚第三系裂谷盆地的共同特点。

（7）油气田主要分布于巴邻旁凹陷和占碑凹陷。

（8）该盆地到目前为止发现了很多油气田，但一般规模都不大。

参 考 文 献

Chacko S. **1989.** Porosity identification using amplitude variations with offset. Examples from South Sumatra. Geophysics，**54（8）**，**942－951**

Hadisoemarrto S，Kartoatmodjo T. **1983.** Case history of a multiple zone peripheral waterflood，Tanjung Tiga Timur Field，**12**th Indonesia Petroleum Association Annual Conven-

tion，**243—253**

Harding T P. **1983.** Structural inversion of Rambutan Oil Field，South Sumatra. AAPG，Studies in Geology，**15（3）**

Hutapea O M. **1981.** The prolific Talang Akar Formation in the Raja Field，South Sumatra. **10**th Indonesia Petroleum Association Annual Convention

Kala T，Maxwell R J，Calvert J H. **1984.** Ramba and Tanjung Laban oil discoveries，Corridor Block，South Sumatra. **13**th Indonesia Petroleum Association Annual Convention

Longman M W，Maxwell R J，Manson A D M，*et al*. **1987.** Characteristics of a Miocene Intrabank Channel in batu Raja Limestone，Ramba Field，South Sumatra，AAPG Bull. **10，1260—1273**

Longman M W，Beddoes. **1985.** Oil—productive Miocene algal and sea grass carbonate mudbanks，South Sumatra. Bull AAPG，**69（2），280**

Pulunggono A. **1986.** Tertiary structural features related to extensional and compressional tectonics in the Palembang Basin. **15**th Indonesia Petroleum Association Annual Convention

Saito，*et al*. **1985.** Sand body correlation in deltaic setting，East Ketaling Field，South Sumatra. **14**th Indonesia Petroleum Association Annual Convention

Situmorang B，*et al*. **1983.** Heat flow variation in Western Indonesian basinal areas，implication on basin formation and hydrocarbon potential. **12**th Indonesia Petroleum Association Annual Convention

Sudevo B，Suhendan A R，Chako S. **1987.** Physical properties of carbonate reservoirs in South Sumatra. **16**th Indonesia Petroleum Association Annual Convention

Woodside P R. **1987.** Petroleum geology of South Sumatra，Indonesia. Bull AAPG，**71（5）**

Zeliff C W，Trollope S W，Mualana E. **1985.** Extension cycles in the Corridor Block，South Sumatra. **14**th Indonesia Petroleum Association Annual Convention

第六节　萨拉瓦蒂盆地

萨拉瓦蒂（Salawati）盆地位于印度尼西亚伊利安查亚（Irian Jaya）西部，盆地总面积12 160 km²，其中海上部分占58％；陆上部分包括萨拉瓦蒂岛全部和鸟头（Vogelkop）半岛的一部分。盆地位于澳大利亚碰撞带的北部，此带为澳大利亚—印度板块上的澳洲大陆克拉通和太平洋与加罗林（Caroline）板块之间的复杂变形区，系一个多旋回盆地，中生代为澳大利亚西北大陆边缘裂谷盆地的一部分，新近纪发展成为一个坳陷盆地（图2—6—1）。

盆地东面及东南面的Sekak山脉及其北部延伸带——Ayamaru高原将萨拉瓦蒂盆地与宾图尼（Bintuni）盆地分开；西南面为Onin—Kunawa隆起，该隆起与Sekak山脊和Ayamaru高原相似，为一第三系碳酸盐岩暴露于地表所形成的局部隆起；盆地的北界为索龙（Sorong）断裂带（图2—6—2），此左旋平移断层从Sulawesi东北部向东延伸穿过新几内亚。索龙断裂带包含了大部分板块聚敛的东西向部分，它有时也被看成为该地区太平洋板块的南界。盆地的西界和西北界被索龙断裂带的向西延伸所遮盖。该盆地极不对称，向索龙断

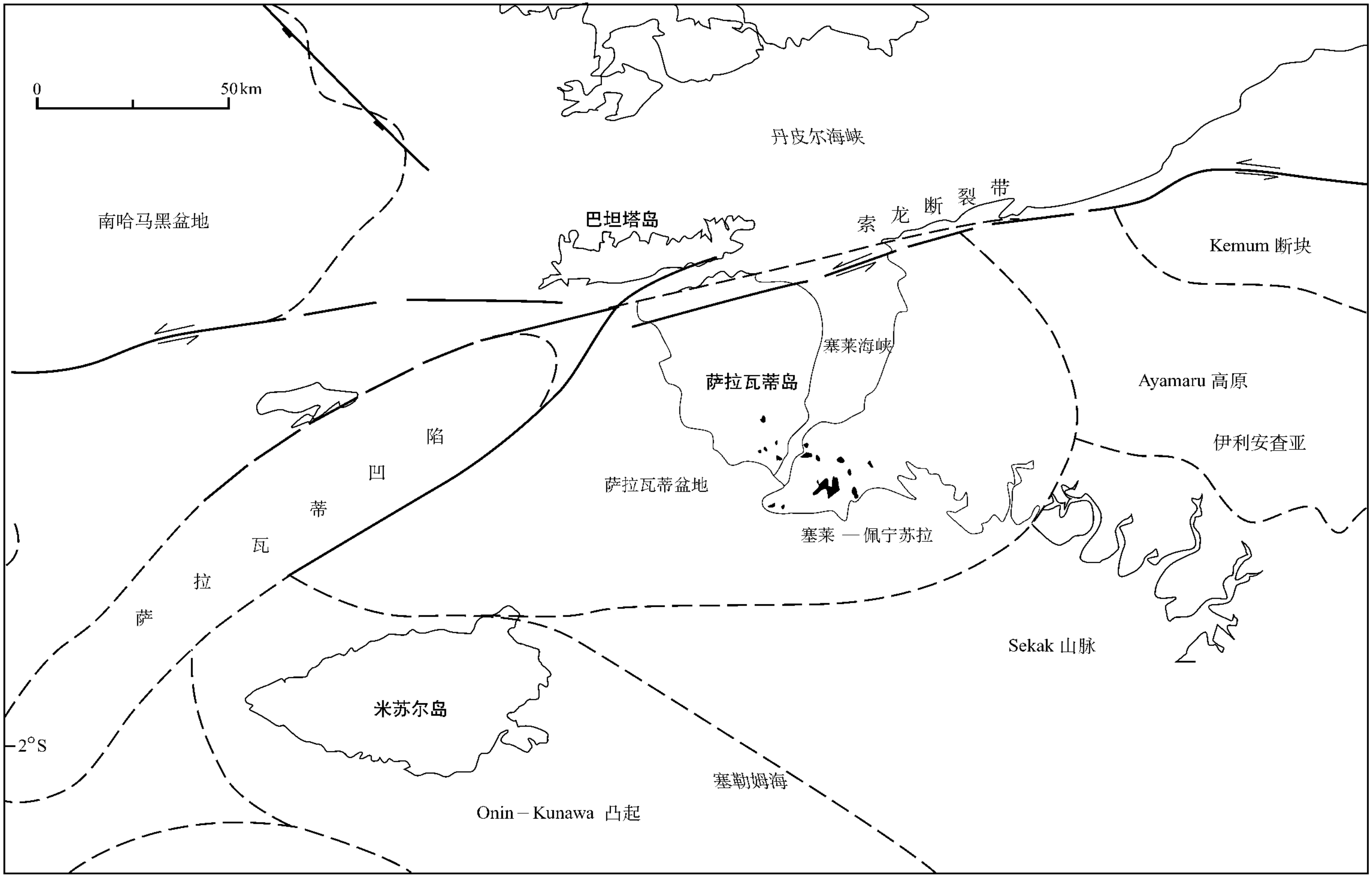


图 2—6—1　**萨拉瓦蒂盆地位置图（引自** Didier Arbouille，Theodhora Piperi，1994）

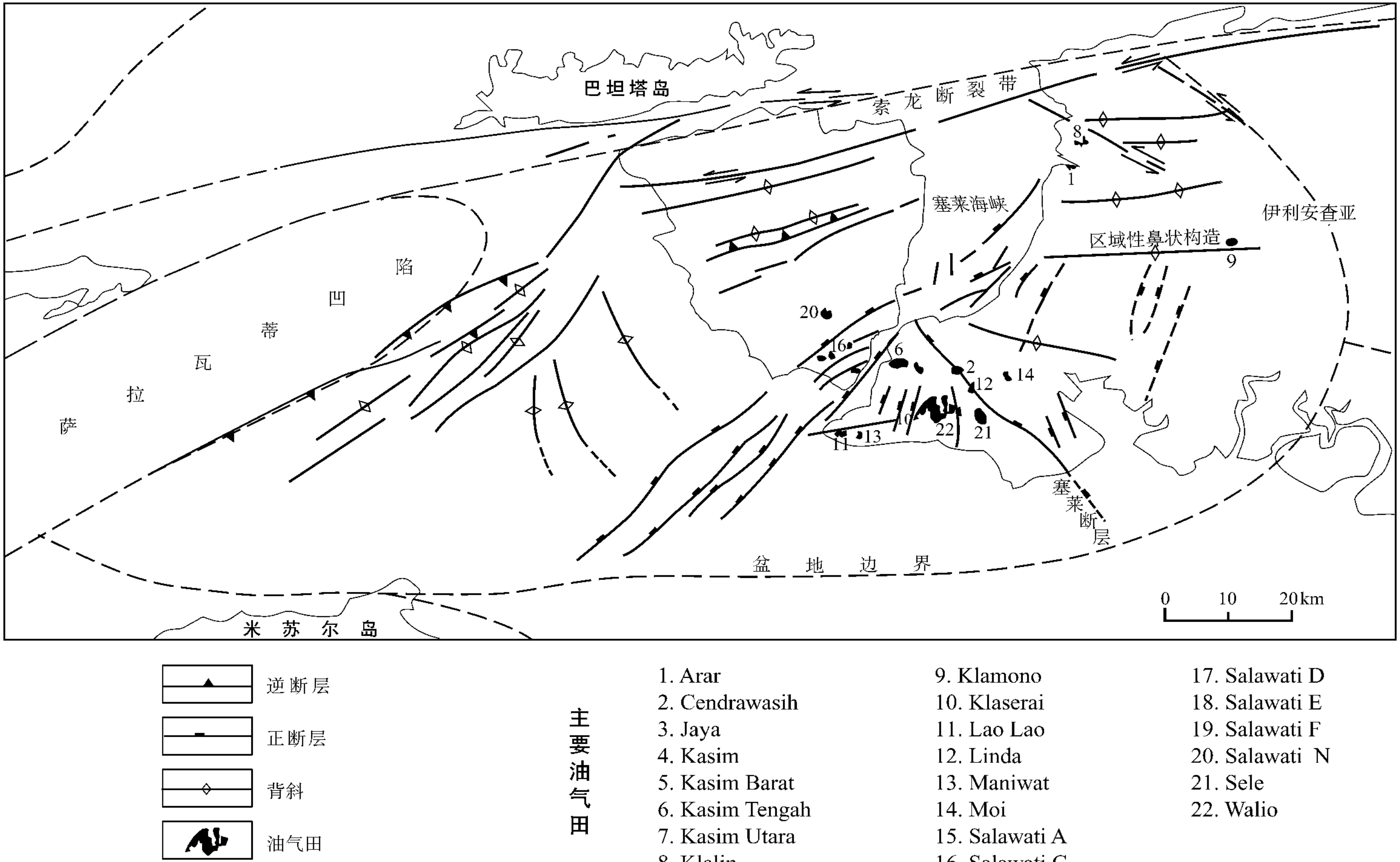


图 2—6—2 萨拉瓦蒂盆地构造纲要图（据 Froidevaux，1978 年修改）

裂带的方向变厚（图2—6—3），在盆地的最深处第三系可达3 500 m。

一、区域地质

1. 盆地演化

萨拉瓦蒂盆地的基底为志留系—泥盆系的Kemum组，并由板岩、板状页岩、杂砂岩和石英岩组成。Kemum组在泥盆纪或早至中石炭纪遭受了区域性变形和浅变质作用，深变质作用发生在二叠纪至三叠纪之间。在基底与其上覆的上古生界、中生界及新生界沉积盖层之间存在着明显的角度不整合（表2—6—1）。萨拉瓦蒂盆地的演化可分为以下几个阶段。

1）前裂谷期：中—晚石炭世到早侏罗世（323—208 *Ma*）

晚石炭世至二叠纪末，沉积了Aifam群浅海相的海进—海退沉积层序，它不整合于基底之上。Aifam群自下而上分为3个组：Aimau组、Aifat组和Ainim组。

Aimau组为该海侵—海退旋回的最下部，其下部为红色薄层砾岩、砂岩、页岩，其上则由厚层砂岩和杂砂岩组成，均属于滨海相沉积的产物。Aifat组由钙质页岩及富含化石和碳质结核的泥灰岩组成，表明海侵进一步扩大和水体加深；但在该组顶部首次出现海退的迹象。Ainim组为明显的海退沉积，由碳质粉砂质泥岩夹石英砂岩、杂砂岩和粉砂岩组成；含煤线，该组沉积于非海相和海陆交互相环境。

萨拉瓦蒂盆地三叠系的Tipuma组以开阔海砂岩和页岩为特征，该盆地三叠系至下侏罗统为对应于相邻的宾图尼盆地的泛海退沉积，并以大陆红层沉积为特征，可能整合于Aifam群之上。

2）裂谷期：中侏罗世至早白垩世（208—146 *Ma*）

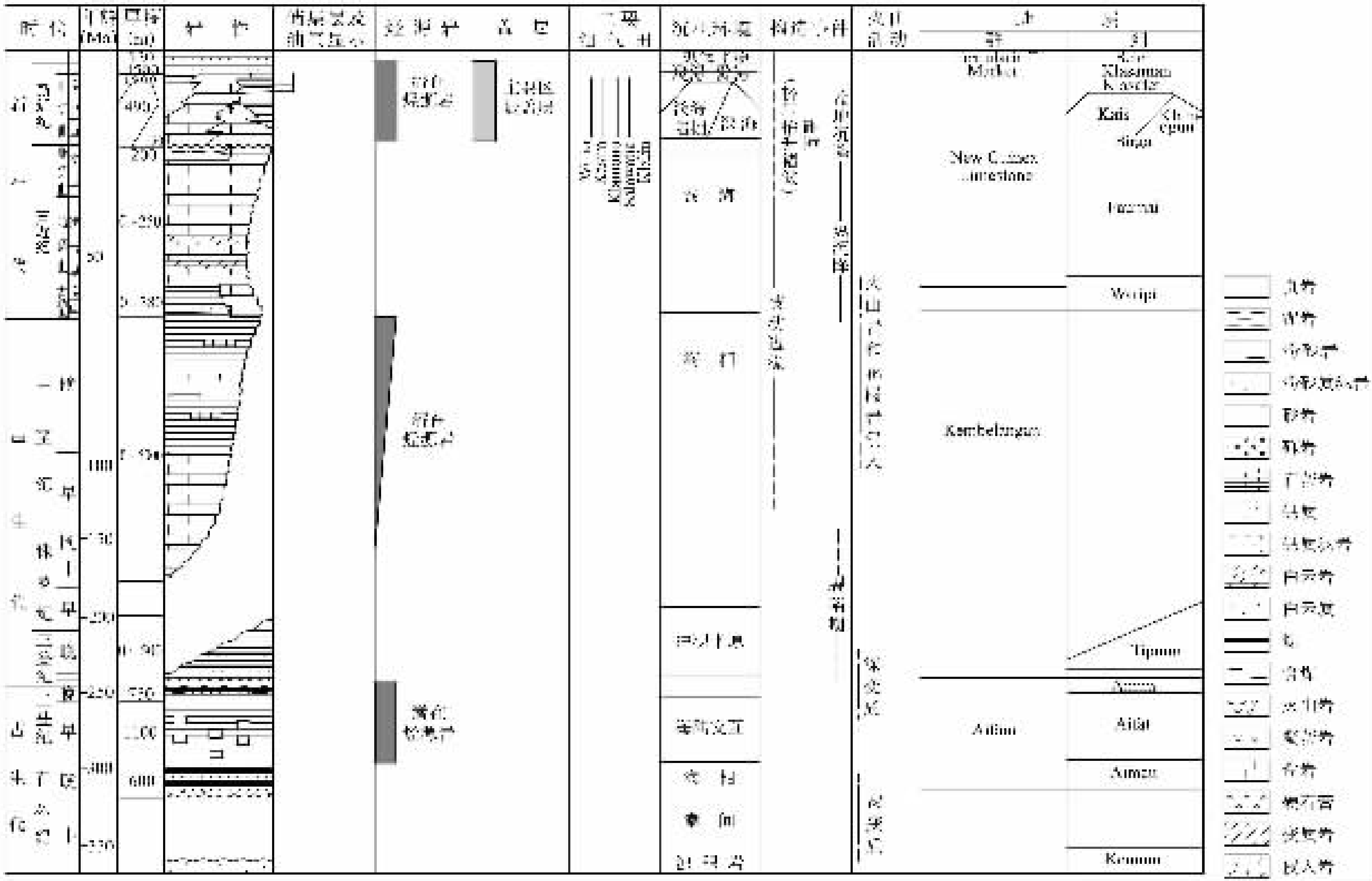
从早侏罗世到中侏罗世末，当冈瓦纳大陆开始解体时，裂陷幕运动影响着澳洲大陆边缘的演化。在区域性应力的作用下，沿北西西—南东东方向发生张性断裂，在其后的块断作用下，有些凸起上的Aifam群和Tipuma组被局部剥蚀。在澳洲板块的西北缘，沉积作用受大地构造演化的强烈控制，早至中侏罗世时，伊利安查亚西部的大部分地区发生了海侵，并沉积了Kembelangan群的碎屑岩，物源位于澳洲大陆之上。Kembelangan群由钙质、云母质泥岩夹石灰岩、砂岩及少量砾岩组成，厚度超过1 500 m。裂开后的不整合面对应于一个剥蚀期，该不整合面将近源裂谷盆地沉积与解体后的深海相分开。在萨拉瓦蒂地区晚白垩世可能发生过花岗岩的侵入，其沉积盖层被抬升并遭受剥蚀，直至下次海侵发生前花岗岩表面几乎达到全部准平原化为止。

3）后裂谷期：早—晚白垩世（146—65 *Ma*）；被动边缘及坳陷期：古新世至晚中新世（65—5.2 *Ma*）

第三纪初期，可能由于深部的热冷却作用，澳大利亚板块北部发生下陷，导致大规模海侵，并形成碳酸盐岩沉积。从古新世到晚中新世，宾图尼盆地和萨拉瓦蒂盆地主要为碳酸盐岩沉积，成为广泛分布的新几内亚石灰岩群的一部分。碳酸盐岩层序包括浅滩沉积（Faumai组）、页岩、石灰岩和泥灰岩（Sirga组）以及生物礁灰岩（Kais组）。

萨拉瓦蒂盆地第三系以古新统Waripi组的碎屑岩沉积开始，该组整合或不整合于Kembelangan群之上。古新统底部为潮下砂岩和泥岩，在古新世时向上和盆地方向（北和东北向）变为蒸发盐岩和石灰岩；始新世初期可能发生过火山活动，并在Misool岛西面的Waripi组中发现火山岩岩屑。始新世至渐新世，Faumai组不整合于老地层之上，该组包括底部的海侵砂岩，向上变为浅水碳酸盐岩，局部夹蒸发岩，该浅水碳酸盐岩在盆地北部上超于老地层之上。

表 2－6－1　萨拉瓦蒂盆地综合地层表（引自 Didier Arbouille，Theodhora Piperi，1994）



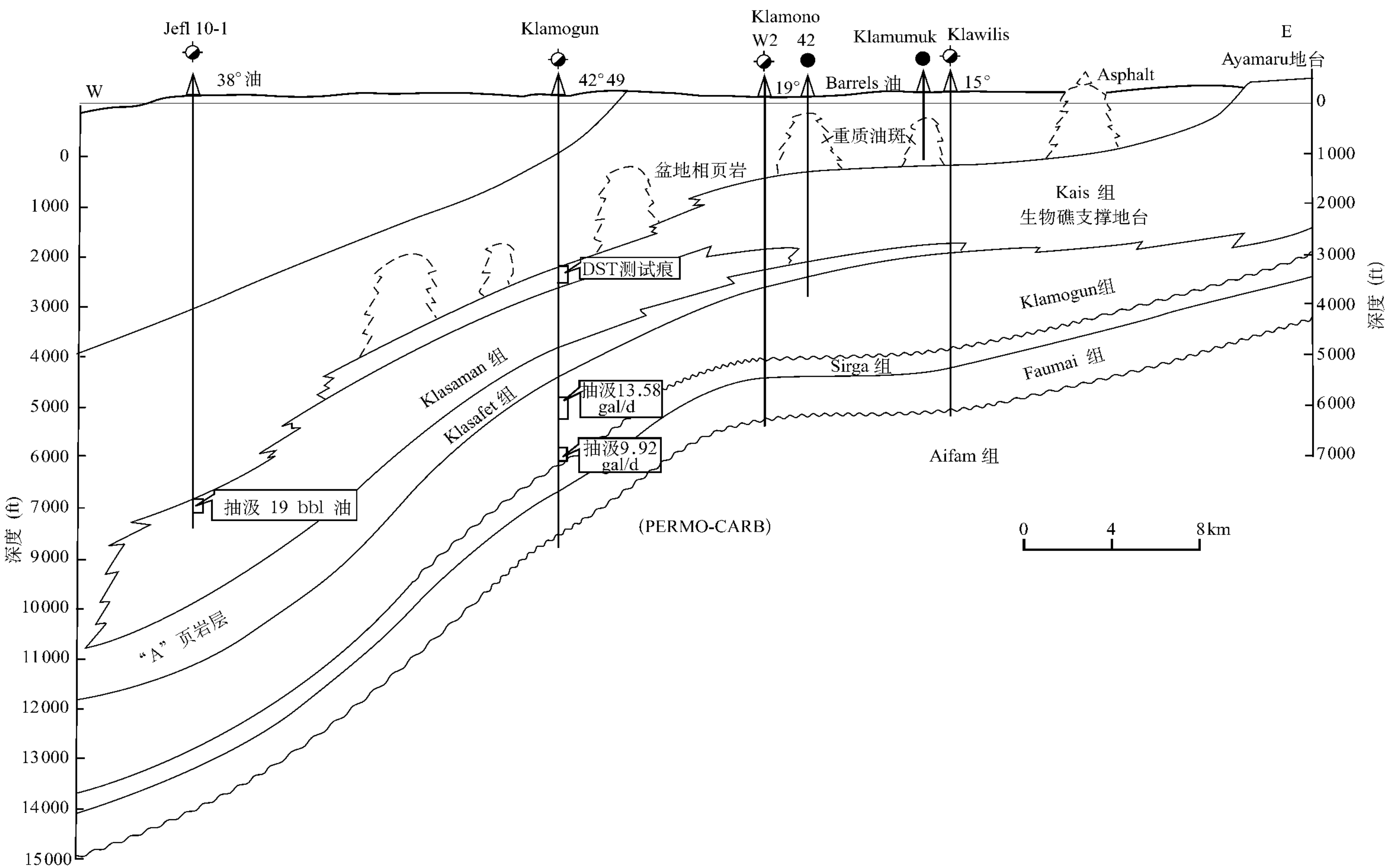


图 2—6—3　萨拉瓦蒂盆地东西向区域横剖面图（据 Trend Exploration Staff，1973）

渐新世时，海平面下降，晚渐新世时开始发生挤压，导致碎屑沉积物的注入；挤压应力的方向为北东—南西向，并可能由澳洲板块及亚洲板块间的大地构造调整或这 2 个板块间的一次早期碰撞所产生。大地构造活动形成了褶皱及沿北西—南东向雁行排列的高角度断裂，并使许多早中生代断层重新活动。区域性不整合面将 Faumai 组与其上覆的 Sirga 组和 Kais 组分开，并在背斜脊部留下记录。

碎屑岩沉积物来自于北面一个物源区，由于穿越陆棚区，从而导致碳酸盐岩沉积物减少。渐新统 Sirga 组由砂岩和页岩夹少量石灰岩组成，代表了一个海退的沉积旋回。晚渐新世时，再次发生海侵并持续整个中新世。中新世初期发生了局部下坳和海水变深，沉降加大而形成萨拉瓦蒂盆地。该盆地由一个开口向西北的海湾组成，盆地南面和东部边缘为浅海陆架，中部为深水海盆。在盆地的这一发育时期，西南部的塞勒（Sele）半岛为一浅水正向区。

碳酸盐岩由生物碎屑泥粒灰岩、泥粒状灰岩夹大量的生物礁和生物层状建造（Kais 组）所组成，它们沉积于陆棚之上并持续了整个中新世。Klamogun 组的深灰—褐灰色石灰岩夹含钙质和有机质的页岩沉积于盆地中部，在陆棚边缘，这些不同带之间发育了一系列碳酸盐岩滩、塔礁，有的高达 460 m。这些建造大多由礁间、礁后和□湖相组成。自中中新世开始，Kais 生物礁有 3 个不同的发育阶段，每一个阶段都由海进的礁生长期及其后的短暂海退礁生长停止期或平静期组成。在萨拉瓦蒂南部因水深变浅而结束了生物礁的发育，并导致大多数地区沉积了 Textularia Ⅱ 石灰岩（这些毯状石灰岩为萨拉瓦蒂盆地明显的地震和测井标志层）。但是，在 Textularia Ⅱ 沉积之后，在现今的萨拉瓦蒂岛有局部生物礁生长。中新世后期，硅质碎屑注入萨拉瓦蒂盆地，其物源区位于盆地的北部。这些碎屑沉积属于 Klasafet 组，由云母质和钙质粉砂岩组成，该粉砂岩抑制了 Kais 生物礁的生长。Klasafet 组在时间上部分相当于某些 Kais 生物礁的发育期，而对生物礁的抑制在全盆地并非同时进行。

4）挤压及坳陷期：上新世至更新世（5.2—0 *Ma*），挤压、扭动和盆地沉降

晚中新世以来，聚敛和转换运动控制了澳洲大陆北缘的演化，澳洲—印度板块的向北运动与加罗林和菲律宾板块东西向运动的耦合作用导致沿澳洲大陆北缘的斜向聚合及与美拉尼西亚（Melanesian）岛弧的碰撞。聚敛的方向自早上新世至今保持不变，该聚敛作用导致了主要地壳缩短。这一碰撞形成了平行于大陆边缘的造山带，该带延伸至 Rrian Jaya 和新几内亚，碰撞也形成了一个大的前陆区域，自西面的鸟头延伸至东面的伊利安查亚。在 Lenggurru 褶皱带发育了一些逆掩断层并伴生出向西南方倒转的上升盘逆冲背斜。大多数应力沿主要区域性断层如索龙左旋断裂带释放。在伊利安查亚（宾图尼盆地以南的 Tarera－Aiduna 断层），还产生了其他左旋断裂，主要为东西走向的扭转断层。由于沿盆地北缘的左旋扭转断裂作用，萨拉瓦蒂盆地发生了沉降。

中新世生物礁发育时，萨拉瓦蒂岛连接在伊利安查亚大陆上，但在中上新世至更新世，即在索龙断裂带形成之后，在现今的塞勒地区产生了一条裂陷带。塞勒海峡打开后，萨拉瓦蒂岛从伊利安查亚分离出去。在盆地东缘发生了抬升，形成了 Sekak 山脉和 Ayamaru 高原，从而将萨拉瓦蒂盆地与宾图尼盆地分开。

洪水将细至粗粒的碎屑物质从 Kemum 陆块搬运到该盆地，上新世至更新世沉积了砂岩、粉砂岩和页岩，植物碎片和褐煤很普遍，局部还发现火山沉积物。在现在的萨拉瓦蒂岛西南部，由于上新世至更新世硅质碎屑的沉积，Kais 组的埋深超过 3 500 m。这些磨拉石型沉积物在萨拉瓦蒂盆地称为 Klasaman 组，它不整合于古生界碎屑岩、中生界裂谷沉积物或

古新统至上第三系碳酸盐岩台地层序之上。大多数沉积发生在极浅水到滨岸泛滥平原环境，随着盆地的充填，沉积环境的水深变浅。在邻近物源的地区，横向相变很快。

晚上新世至早更新世的最后一次大地构造事件产生了一系列北西—南东走向的背斜，并形成了一个不整合面。局部沉积了塞勒组，该组由复矿砾岩夹薄层砂岩和泥岩组成，为一套冲积阶地和泛滥平原沉积物。上新世至更新世的强烈地震活动对萨拉瓦蒂盆地和宾图尼盆地的形成产生了一定的影响，尽管这些地震发生的频率已大为降低，但至今仍在活动。

2. 地层简介

萨拉瓦蒂盆地的基底为志留系至泥盆系的变质岩，其上发育了石炭系至第三系（表2－6－1）。现分述如下：

（1）志留—泥盆系 Kemum 组（基底）：由板岩、板状页岩、杂砂岩和石英岩组成。

（2）石炭—二叠系 Aimau 组：下部为滨海相的红色薄层砾岩、砂岩、页岩，而上部由厚层砂岩和杂砂岩组成。Aifat 组由钙质页岩及富含化石和碳质结核的泥灰岩组成。Ainim 组为明显的海退沉积，由碳质粉砂质泥岩夹石英砂岩、杂砂岩和粉砂岩组成；含煤线，该组沉积于非海相和海陆交互相环境。

（3）三叠系 Tipuma 组：以开阔海砂岩和页岩为特征，为大陆红层沉积，可整合于 Aifam 群之上。

（4）侏罗—白垩系 Kembelangan 群：由钙质、云母质泥岩夹石灰岩、砂岩及少量砾岩组成，厚度达 1 500 m 以上。

（5）第三系：

①古新统 Waripi 组，为碎屑岩沉积，该组整合或不整合于 Kembelangan 群之上。古新统底部为潮下砂岩和泥岩，向上和盆地方向（北和东北向）变为蒸发盐岩和石灰岩；夹有火山岩岩屑。

②始新统至渐新统 Faumai 组，不整合于老地层之上，该组包括底部的海侵砂岩，向上变为浅水碳酸盐岩，局部夹蒸发岩。

③渐新世 Sirga 组，由砂岩和页岩夹少量石灰岩组成，代表1个海退沉积旋回。

④中新统在该盆地自下而上发育了3个组，它们是：Klamogun 组，由深灰—褐灰色石灰岩夹富含钙质和有机质的页岩组成（分布于盆地中部），在陆棚边缘，有一系列碳酸盐岩滩、塔礁，有的高达 460 m。这些建造大多由礁间、礁后和□湖相组成。Kais 组，为碳酸盐岩，由生物碎屑泥粒灰岩、泥粒状石灰岩夹大量生物礁和生物层状建造组成。Klasafet 组，由页岩和泥质灰岩组成。

⑤上新统至更新统为2个组，分别为：Klasaman 组，为一套磨拉石沉积，不整合于古生界碎屑岩、中生界裂谷沉积物或古新统至新近系碳酸盐岩台地之上，大多数沉积于极浅水到滨岸泛滥平原环境。塞勒组，仅局部发育，由复矿砾岩夹薄层砂岩和泥岩，为一套冲积阶地和泛滥平原沉积物。

二、大地热流

萨拉瓦蒂盆地的地温梯度一般介于2.42～3.8℃/100m之间，平均为3.73℃/100m。通常萨拉瓦蒂盆地的地温梯度比其相邻的宾图尼盆地要高，地温梯度在 Klamogun1 井区达到最大，但温度梯度向东南方向增加，在 Beraur－1 井测得最高值（5.83℃/100m）。在 Sele－39 发现的花岗闪长岩对热流值似乎没有任何影响，并未产生任何热异常。

三、火山活动

萨拉瓦蒂盆地火山活动并不频繁，晚白垩世可能发生过花岗岩的侵入，早始新世初期可能发生过火山活动，并在米苏尔（Misool）岛西面的 Waripi 组中发现了火山岩岩屑。

四、含油气性

1. 烃源岩

萨拉瓦蒂盆地尚未识别出确定的烃源岩，但是，中新统 Klasafet 组的海相页岩和 Klamogun 组的深水碳酸盐岩被普遍认为是该盆地的主要烃源岩。这些潜在的烃源岩位于 Kais 组储集层侧面或上部，其总有机碳含量（TOC）较低，在 0.3%～1.1%之间，并主要为生气的Ⅲ型干酪根。除了在盆地的最深部以外，这些烃源岩一般不都成熟，镜质组反射率 R_o 小于 0.65%。最深的钻井揭示生油窗的现今埋深超过 2 100 m。但是，菲利普公司在萨拉瓦蒂岛上发现的天然气—凝析油田表明部分油气来源于 Klasafet 组。

同宾图尼盆地一样，萨拉瓦蒂盆地可能还有其他几种烃源岩，这些潜在的烃源岩包括：

（1）Klasaman 组的页岩有机质含量较高，但在盆地大多数地区尚未成熟。

（2）上渐新至下中新统 Sirga 组，富含有机质薄层，其有机碳（TOC）含量较高（大于 2%），含混合腐泥型干酪根；萨拉瓦蒂盆地 Sirga 组的页岩含Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型干酪根，部分已成熟。

（3）Kembelangan 群下部为浅海环境沉积的碳质页岩和砂岩互层，页岩层的总有机碳含量为 4.5%～7.6%，干酪根为腐殖型，R_o 值为 0.5%～0.6%，该组可能至今仍处于未成熟到成熟的过渡带。

（4）宾图尼盆地上二叠统 Ainim 组（Aifam 群）含有多层煤层和富含植物碎片的碳质页岩，且沉积于河流—三角洲环境；地表样品上测得的镜质组反射率 R_o 为 0.53%～0.66%，它对应于生油的开始，但可能因与大气水的交换而使 R_o 降低。Ainim 组在宾图尼盆地被认为处于生油窗之内，并认为在萨拉瓦蒂盆地也已成熟。

（5）二叠系的 Aifat 组（Aifam 群）由沉积于海相环境的厚层黑色钙质页岩和石灰岩组成，地表样品测得的总有机碳值为 0.7%～1.8%，平均为 1.2%，干酪根为腐殖型，其成熟度对应的 R_o 值为 1%～1.2%，但其实际生烃需要的值可能稍低一些，因为 Aifat 组地表样品已排烃或遭受大气水交换的影响。

由于水洗作用的影响，在地层条件下原油的性质已发生变化，充满到溢出点或接近活跃水层的油田已遭受严重水洗（Kasim Utara 和 Cendrawasih 油田）。上倾油田如 Kasim 和 Jaya 油田未充满到溢出点，因此未遭受水洗。在 Kasim 油田，原油的比重为 37.4°API，硫的质量百分含量为 0.54。在 Walio 油田，原油的平均比重为 34.1°API，表明部分遭受过地层水的水洗。硫的质量百分比为 0.72。在 Klamono 油田，某些原油还遭受生物降解，该过程会降低原油密度，提高硫含量和粘度，也会降低凝固点。

天然气中含可燃组分较高，甲烷含量达 90%（摩尔百分含量），乙烷含量 9%（摩尔百分含量），未发现硫化氢。

烃源岩成熟区的形态与目前盆地的形态一致，呈新月形（图 2－6－2）。沉积物在盆地中部成熟而沿边缘未成熟。

2. 储集层

几乎所有的油气都产自中新统 Kais 组上部的生物礁碳酸盐岩建造，Kais 组的石灰岩发育于礁相、□湖和滨面沉积环境，作为储集层的碳酸盐岩与泥质致密层互层，这些泥质致密

层把储集层分隔成明显的水平层，这些泥质致密层是在富含粘土的水跨越这些碳酸盐岩建造时沉积的。

储集层的岩相包括：①生物礁和礁内沉积物，以珊瑚—藻为骨架岩夹泥粒状灰岩；②礁平、礁冠，以含珊瑚碎屑的泥粒状灰岩和泥粒灰岩为特征；③由骨架泥粒状灰岩、含粗粒珊瑚碎屑泥粒状灰岩构成的礁后、礁麓堆积、含泥粒状灰岩和灰质泥岩的内潮下浅海陆棚相沉积物。

孔隙度和渗透率变化很大，在宾图尼盆地和萨拉瓦蒂盆地的大多数地区，Kais 组的平均孔隙度为 20%，在 Walio 油田，孔隙度为 5%～30%，平均为 23%，渗透率为（1～5000）$\times10^{-3}$ μm^2（平均只有 $7\times10^{-3}\mu m^2$）。在 Kais 油田，平均孔隙度为 23%，平均渗透率为 38×10^{-3} μm^2。孔隙类型包括铸模孔、洞穴和晶间孔，有学者认为碳酸盐岩储集层易发生早期胶结，随后发生白云岩化和溶解，从而在地表下很浅处形成铸模孔和洞穴，其成岩作用在后期的裂隙和缝合作用下结束，这些作用有利于改善储集层的储集性能。白云岩化作用主要发生在碳酸盐建造的边缘。

在 Ayamaru 高原，Walio 和 Kasim 油藏的水驱油效力强，这是由于这些油田东面 60 km 处 Kais 组的碳酸盐岩暴露于地表之故。在这些油田中，由于孔隙度高、因裂隙作用而产生的高渗透率及强的水驱效力，使初期产量极高（超过 10 000bbl/d 油）。然而，这样高的产量很快就导致出水，这是因为大裂缝和洞穴很容易形成水锥所致。

油气产自于 Kais 组上面的毯状石灰岩，这些上中新统的生物碎屑灰岩对应于一个明显的地震和测井标志层，称之为 Textularia Ⅱ标志层（表 2—6—2）。Textularia Ⅱ标志层位于 Klasafet 组顶部，有 7～12 m 厚。在 Walio 油田次要储集层也产油，但页岩向 Kasim 和 Jaya 油田北部 4～5 km 的地方很快就尖灭。储存于 Texularia Ⅱ石灰岩的油很快就通过裂缝从 Kais 组的生物礁圈闭中漏失。

表 2—6—2　萨拉瓦蒂盆地生、储、盖层基本特征

类　型	层　　位	岩　　性	时　　代
储集层	Kais 组	石灰岩	中—晚中新世
	Textularia Ⅱ（Klasafet 组）	石灰岩	晚中新世
	Klamogun 组	碳酸盐岩	早—中中新世
烃源岩	Klasafet 组	页　　岩	中—晚中新世
	Sirga 组	页　　岩	晚渐新—早中新世
	Kembelangan 群	碳质页岩	白垩纪—中侏罗世
	Ainim 组	碳质页岩	二叠纪
	Aifat 组	黑色页岩	早—晚二叠世
盖层	Klasafet 组	页　　岩	中—晚中新世
	Klasaman 组	页　　岩	上新世
	Kais 组	页　　岩	中—晚中新世

3. 盖层

萨拉瓦蒂盆地的盖层如下：Klasafet 组和 Klasaman 组的泥岩和非渗透性泥灰岩无论在纵向上还是横向上都是区域性盖层；Kais 组的致密层为组内盖层并把储集层分隔成许多明

显的水平层。

4. 油气生成与运移

该盆地上新世至更新世的构造部分控制了烃类的垂向运移，在这些构造中断层为圈闭的主要要素。在某些油田，如 Kais 油田，大多数断层对油田范围内流体的流动都不起封堵作用（油田有统一的油水界面），而其上覆的泥质灰岩也不构成对储集层上部盖层的破坏。然而，在 Kasim 油田，石油渗漏表明断层在局部地区也使一些石油自储集层中渗漏，这也是为什么该油田的油未充满到溢出点的原因。

上新世至更新世的扭转期在前第三系中也形成了强烈的断裂带，为前第三系烃源岩所生成的石油提供了向上运移的通道（图 2－6－4）。在这种情况下，上白垩统 Kembelangan 群的页岩在油气运移过程中可能起到了很重要的作用，当这些页岩缺失或因断层影响而不能起有效遮挡作用时，石油可能就会运移到第三系储集层中去。

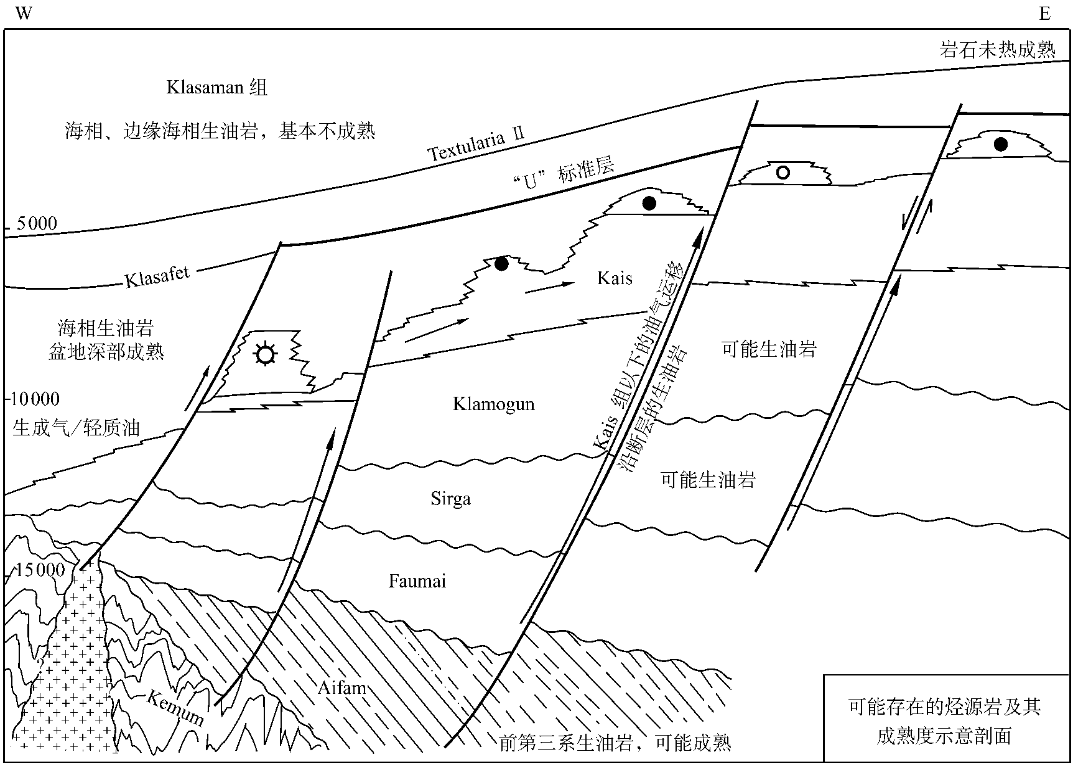


图 2－6－4　萨拉瓦蒂盆地油气运移模式（引自饶春涛、黄仙英，1994）

从成熟烃源岩区运移出来的天然气可能首先充注下倾方向的构造至溢出点，并把其中的油置换出来，使其充注到上倾方向的构造中。有学者认为上新世至更新世形成的构造控制了生烃区生成石油的分布，因此，位于运移屏障之后的浅层圈闭或下倾方向未充满至溢出点的储集层几乎总是干的。

5. 含油气组合

Kais 组拥有萨拉瓦蒂盆地 99.96％的烃类，因此是该盆地惟一主要的含油气组合。储集层发育于晚中新世的生物礁建造或裂缝型台地碳酸盐岩中，Klasafet 组的页岩为区域性盖层，Kais 组中的致密层为组内盖层，并将储集层分隔成许多明显的水平层。生物礁在形态

和大小上变化很大，在 Kasim 油田，有的在外表上很集中，直径达 2.4 km；在 Walio 油田，有的则呈长条状。

1）含油气组合类型

Kais 构造油气藏仅在 1 个发现（Klaifi 1）中有报道，储集的石油仅为该盆地的 0.01%，圈闭机理可能为局部礁顶形成的背斜构造。披覆构造为碳酸盐岩生物礁之上的差异压实所造成，并由 Klasafet 组的页岩在垂向和侧向上封堵形成圈闭。

Kais 地层型油气藏从容积上讲是最重要的，在 33 个油田/发现中见到，它储集了该盆地 84.2%的油、67.9%的气和 82.3%的凝析油。圈闭由塔礁、生物丘碳酸盐岩礁组成，由 Klasafet 组的页岩在侧向和垂向上形成遮挡（图 2—6—5），有时，生物礁复合体上叠加了碳酸盐岩浅滩相。

Kais 构造—地层型油气藏在 6 个油田或发现中发育，含该盆地 15.8%的油、32.1%的气和 17.8%的凝析油，圈闭形成的机理为构造、地层和成岩的综合作用（图 2—6—6）。厚层的礁复合体直径从小于 1 km 到几千米长的阔礁，如 Walio 油田（长 19 km，宽 6.5 km）（图 2—6—7）。在这些生物礁中纯净碳酸盐岩的垂直高差可达几百米（构成 Kasim 油田的生物礁为 490 m），在礁周围的深水区沉积了含泥质更多的岩相。

Kasim 油田的西界为一向西倾的主断层，其北、东、南的边界为从生物礁向非礁的相变。

Walio 油田的西界同样为一向西倾的主断层，该油田的北界为生物礁向非礁的相变带，东界为断裂和相变带，南边则为构造倾向带。该碳酸盐岩建造分为 5 个相邻的区块，只有断层限制的东区块断层对储集层内的流体构成封挡，该区块内的油/水界面比其他区块的油/水界面深。

在 Walio 油田有一个次要含油气组合与 Textularia Ⅱ 构造—地层型油气藏相对应，该油气藏储集的烃类不到该盆地的 0.1%。其储集层为 Textularia Ⅱ 的生物碎屑灰岩，盖层为 Klasafet 的页岩。该油气藏位于大 Walio 生物礁的东面，大 Walio 生物礁东面向上翘倾，并被南北走向的正断层所切割。

2）含油气组合的分布

油田围绕盆地的边缘形成一个环形分布，而埋藏更深的圈闭仅含气或气—凝析油，产油区中部的气油比低（50ft³/bbl），向北和向南增加，南面塞勒油田的油未被气体饱和。对油气聚集和干井的分析表明上新世至更新世的构造控制了烃类的运移和圈闭，断层在圈闭形成的过程中扮演了重要角色。

3）封闭时间

封闭时间为中中新世至上新世。

4）影响油气形成有效圈闭的因素

（1）油气生成：早上新世至今，生油高峰期为晚上新世。

（2）圈闭形成：地层型圈闭形成于中—晚中新世，构造型圈闭形成于早上新世至今。

（3）最早封闭：中中新世。盆地深部生油始于地层圈闭形成之后，而与构造圈闭的形成同时。主要大地构造运动发生于上新世—更新世，大大晚于中新世生物礁的沉积。

6. 含油气系统

萨拉瓦蒂盆地的油气属于单一含油气系统；然而，在上—下二叠统的 Aifat 组、二叠系 Ainim 组、中侏罗统的下 Kembelangan 群存在潜在的烃源岩，因此可能会像宾图尼盆地一

样，在萨拉瓦蒂盆地会发现其他含油气系统。

一般认为萨拉瓦蒂盆地中所生成的石油大多数来源于中新统 Klasafet 组的页岩和 Klamogun 组的碳酸盐岩；储集层由 Kais 组的多孔礁石灰岩和□湖相石灰岩组成；区域性盖层为 Klasafet 组和 Klasaman 组的泥岩和粉砂岩；始于早上新世的主要大地构造活动为上新世后期烃源岩的成熟提供了重要的硅质碎屑岩上覆地层，这一厚层硅质碎屑岩构成了上新统至更新统的 Klasaman 组和塞勒组。生油区位于盆地最深的北部地区。大地构造活动及断层型式无疑对运移通道具有重要影响，天然气也可能置换石油，使其进入到上倾方向的构造之中。

该含油气系统的持续时间从约 23.3 Ma 前（Klamogun 组沉积初期）至今。目前油气的分布主要归因于下列因素的相互作用：①盆地北部最深处的烃源岩；②沉积中心烃源岩的成熟深度和时间；③石油沿垂向输导层运移的有效性或与天然气运移的关系；④储集层的成岩演化史：不连通的孔隙及渗透率方式在生物礁沉积时形成而在其后的成岩作用过程中得到改善。

7. 油气储量及丰度

根据 1994 年对萨拉瓦蒂盆地各所有油气田和发现的统计，其最终可采油气储量为油 420.5×10^6 bbl（约 60×10^6 t）、凝析油 22.51×10^6 bbl，气 260.5×10^8 ft^3（约 231×10^8 m^3），其油气丰度见表 2－6－3。

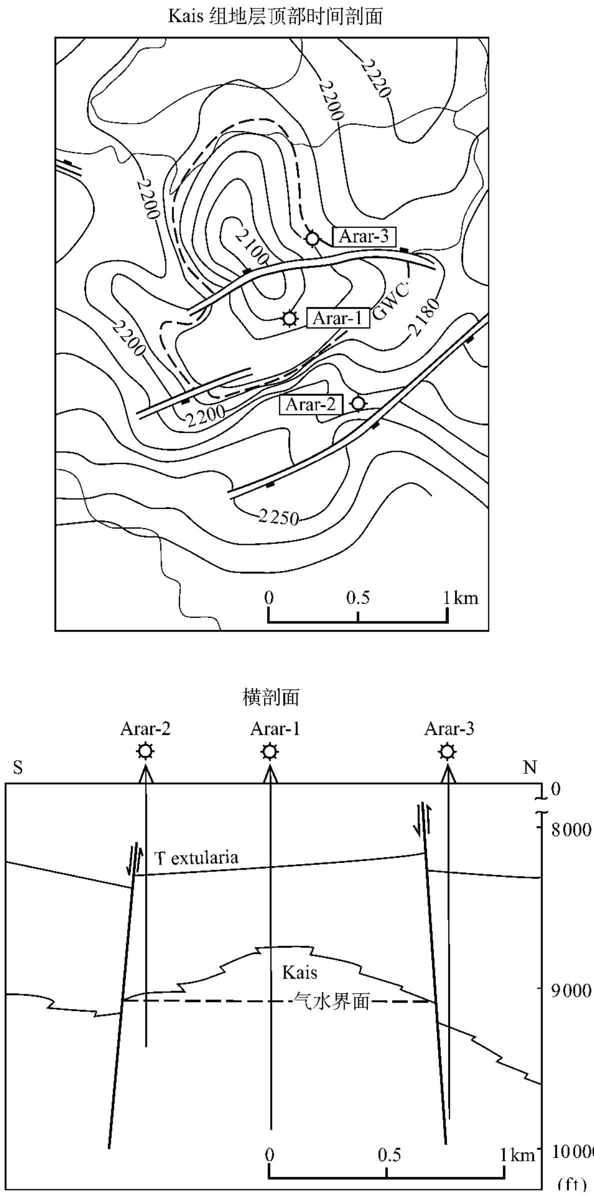


图 2－6－5　Arar 油田 Kais 组地层型圈闭
（据 IPA，1988 年修改）

表 2－6－3　萨拉瓦蒂盆地油气丰度（1994）

类　　型	油及凝析油	气	总　　量
油气丰度	36 432bbl/km^2	51.48×10^6 ft^3/km^2	45 012bbl（油当量）/km^2

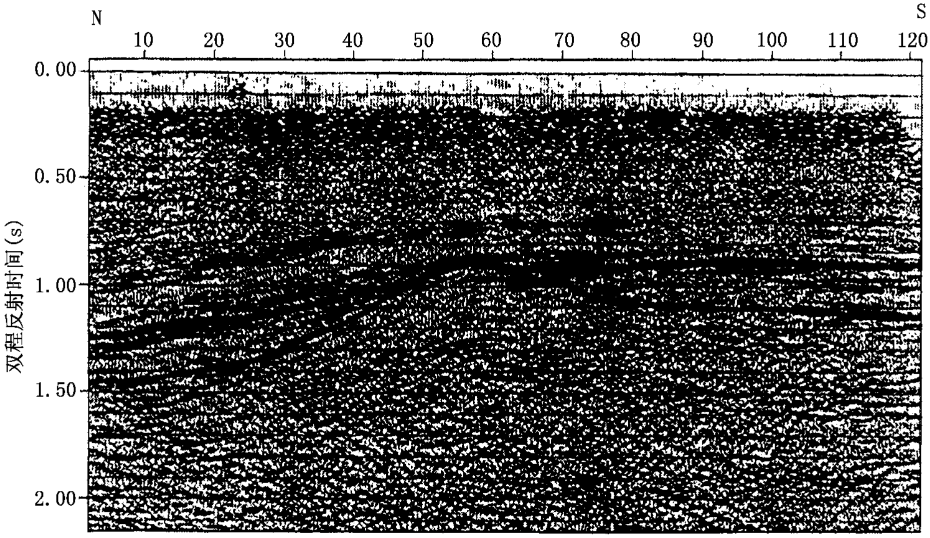


图 2—6—6 Kasim **油田** Kais **组构造—地层圈闭**

(**据** Gibson—Robimson **等，1990**；Livingstone **等，1992**；Petroconsultants，**1993**)

8. **主要圈闭类型**

萨拉瓦蒂盆地产层都是中新世 Kais **组生物礁碳酸盐岩，因此，圈闭类型简单，为地层型圈闭**（**图 2—6—5**）。

9. **油气田分布**

萨拉瓦蒂盆地目前在陆上和海上共发现 20 多个油气田，最主要的有 Klamono、Walio **和** Kasim A、B、C、D、E、F **油田等**。

10. **大油气田及典型油气田**（**藏**）

前已述及，萨拉瓦蒂盆地共发现油气田 20 多个，而总油气储量不多，因此每个油田都不大，表 2—6—4 列出了该盆地几个较大的油气田。

表 2—6—4 萨拉瓦蒂盆地较大油气田油气可采储量

油 气 田	**油**（10^6bbl）	**凝析油**（10^6bbl）	**气**（10^8ft^3）
Jay	**40**	**0**	**0**
Klamono	**40**	**0**	**0**
Walio	**190**	**0**	**1 000**
Kasim	**57**	**0**	**9**
Terumbu **1**	**0**	**4**	**2 000**
累 计	**327**	**4**	**3 009**
占总储量的比例	**78**%	**18**%	**48**%

11. **勘探开发历程及现状**

萨拉瓦蒂盆地的勘探始于 1935 年，作业者为 NNGPM。**1966 年** Pertamina **获得了一块**

勘探开发的区块。以后，Phillips、Trend、Amoseas 和 Santa Fe 等公司先后在整个盆地范围从事勘探开发活动。

盆地陆上勘探程度高，勘探密度为每 35.9 km^2 一口预探井，0.45 km^2/km 的地震记录。NNGPM 公司首次在此开展地震勘查。20 世纪 70 年代后，地震、钻井活动增加。20 世纪 70 年代发现了盆地内 51%的油气，其中 Trend 公司是最成功的勘探作业者，发现了盆地 50%的储量。1989 年 Trend 公司 Terynby 1 井在上新统 Klasaman 组发现了天然气，导致一个新油气聚集带的发现。

到 1994 年中期，约做了 11 400 km 的地震勘查，钻了 143 口预探井，发现了 36 个油田。

在海上勘探程度中等，早期地震资料很少。目前预探井网密度 319.5 km^2/口，地震记录 0.6 km^2/km。Phillips 公司打了 22 口井，发现了 5 个油区。

伊利安查亚西部是个高成本区。萨拉瓦蒂盆地的陆上部分地形起伏大，植被茂密，远离印度尼西亚的主要工业、人口中心，通讯困难，勘探作业需要直升机协助。海上作业较容易，一般工区为浅水，水面平静。

盆地内最大的油气聚集带为 Kais 组油气聚集带，拥有盆地总储量的 99%以上。盆地内探明石油储量 6 068×10^4 t、天然气 177×10^8 m^3。

盆地内开发始于 20 世纪 40 年代末或 20 世纪 50 年代初，至 1994 年 7 月，已钻了 469 口井，其中 3 口在海上。

区内没有大型集输管线或炼厂。原油一般运到新加坡或日本，或者船运到印度尼西亚的炼厂。

五、小结

（1）萨拉瓦蒂盆地经历了中晚石炭世至早侏罗世的前裂谷演化阶段，沉积了一套以海相碎屑岩为主的海进—海退旋回的沉积物，顶部为陆相红层，其中的页岩及石灰岩为可能的烃源岩。

（2）中侏罗世到早白垩世的裂谷阶段，沉积了一套碎屑岩及石灰岩地层，Kembelangan 群的碳质页岩为可能的烃源岩。

（3）早至晚白垩世的后裂谷阶段，始新世至晚中新世的被动边缘及坳陷发育阶段，沉积了一套石灰岩、页岩、泥灰岩和生物礁灰岩，此阶段为重要的生、储、盖层发育阶段，该盆地大部分油气储集于这些沉积物中，大部分烃类为其所生。

（4）上新世—更新世的挤压及坳陷发育阶段，碎屑岩沉积为烃源岩的成熟提供了有效的上覆负荷。

（5）中新统 Klasafet 组的海相页岩及 Klamogun 组的深水碳酸盐岩为盆地的主要烃源岩，下部的页岩及碳酸盐岩为可能的烃源岩。

（6）主要储集层为中新统 Kais 组的生物礁碳酸盐岩建造，储集层的孔隙度较好，渗透率变化较大。

（7）Klasafet 组和 Klasaman 组的泥岩和泥质灰岩为区域性盖层。

（8）地层型圈闭为主要圈闭类型，构造—地层型圈闭次之，断层在圈闭形成中扮演了重要角色。

（9）目前在该盆地仅确认一个含油气系统，已探明可采石油储量为 6.45×10^8 bbl。

参 考 文 献

Dow D B，Hartono U. **1984.** The mechanism of Pleistocene plate convergence along northeastern Irian Jaya. **13**th Indonesian Petroleum Association Annual Convention，Proceedings，**13**，**145—150**

Dow D B，Sukamto R. **1984.** Western Irian Jaya：the end—product of oblique plate convergence in the Late Tertiary. Tectonophysics，**106**，**109—140**

Dow D B，Robinson G P，Ratman N. **1985.** New hypothesis for formation of Lengguru Foldbelt，Irian Jaya. AAPG Bull.，**69**（**2**），**203—214**

Froidevaux C M. **1977.** Tertiary tectonic history of the Salawati area，Irian Jaya. Oil and Gas Bulletin，**23**（**8**），**15**

Froidevaux C M. **1978.** Tertiary tectonic history of the Salawati area，Irian Jaya. AAPG Bull.，**62**（**7**），**1127—1150**

Gibson—Robinson C，Soerdirdja H. **1986.** Transgressive development of Miocene reefs，Salawati Basin，Irian Jaya. **15**th Indonesian Petroleum Association Annual Convention，Proceedings，**377—403**

Luki S，Kartanegara L. **1991.** The role of Cretaceous seal to the hydrocarbon potential of the Salawati and Bintuni basins，Irian Jaya，Indonesia. In：anonymous，American of Petroleum Geologist **1991** Annual Convention with Divisions，AAPG Bull.，**75**（**3**），**666**

Livsey A R，Duxbury N，Richards F. **1992.** The geochemistry of Tertiary and pre—Tertiary source rocks and associated oils in eastern Indonesia. **21**st Indonesian Petroleum Association Annual Convention，Proceedings，**499—520**

Phoa R S K，Samuel L. **1986.** Problems of source rock identification in the Salawati Basin. **15**th Indonesian Petroleum Association Annual Convention，Proceedings，**405—421**

Vincelette R R, Soeparjadi R A. 1976. Oil bearing reefs in Salawati Basin of Irian Jaya, Indonesia. AAPG Bull., 60 (9), 1448－1462

第七节　泰国湾盆地

泰国湾（the Gulf of Thailand）盆地位于印支半岛和马来半岛所夹持的泰国湾北部（图2－7－1），其面积170 650×10^4 km^2，其中海上为169 590 km^2，陆上1060 km^2。盆地受位于其中心的北大年（Pattani）坳陷的控制，可划分出13个大小不等、从500 km^2至28 000 km^2的坳陷。其北面与陆上的湄南坳陷相连，西南和南部被泰国—马来半岛所包围，东面与印支半岛的高绵陆架相邻，东南端以那拉提瓦（Narathiwat）隆起和马来盆地相隔（图2－7－2）。

一、区域地质

1. 盆地演化

泰国湾第三纪盆地为克拉通内裂谷盆地，该盆地是在始新世—渐新世期间印度板块与欧亚板块碰撞，随后发生的印支板块挤压和顺时针旋转以及走滑断层活动作用下发育而成的。这表明裂谷盆地最初形成于渐新世之前，并在地堑或半地堑里开始接受第三纪沉积。简而言之，泰国湾盆地发育经历了早渐新世以前的（前第三纪）克拉通内盆地形成阶段；晚渐新世—中中新世的裂谷发育阶段以及晚中新世—第四纪的坳陷发育阶段。

1）前裂谷阶段——前第三纪

前第三纪—早渐新世，泰国湾盆地所处的巽他陆块西北部产生了南北向、北西—南东向和北东—南西向断裂，并发生沉降，从而形成了克拉通内盆地。基于北西—南东向的走滑断层发生右旋运动，北东—南西向共轭走滑断层发生左旋运动以及东南亚地块发生顺时针方向旋转的事实，右旋扭张剪切应力控制着泰国湾盆地的形成和发育。此时，南北向张性断层非常发育，形成了同方向的地垒和地堑结构。而且这些边界断层控制着盆地张性断裂作用。在始新世—早渐新世期间，海水侵入陆块边缘盆地，泰国湾盆地充填了一套陆相碎屑岩，并且明显受基底断裂控制。

2）裂谷期——渐新世至中中新世

晚渐新世—中中新世，由于南中国海海底扩张，盆地进一步扩大，较大而短暂的海水侵入巽他陆块，接着又退出。在此期间泰国湾盆地沉积了一套湖相和沼泽相砂、泥岩和煤层，其上部为冲积扇和高能三角洲平原砂岩夹煤层，是一个退覆沉积序列。它是泰国湾盆地重要的生、储、盖层系。在此时期内，除基底断裂继续活动外，还发育着高角度张性断裂，盆地中心有生长断层存在（图2－7－3）。中中新世末发生过一次区域性构造活动，伴随岩浆和火山活动，泰国湾盆地上升隆起和侵蚀，并形成许多局部构造，至此盆地裂谷阶段结束。

3）裂谷后期或坳陷阶段——晚中新世至今

晚中新世—第四纪，南中国海进一步扩张，盆地发生坳陷和强烈海侵，接受了海侵超覆式沉积，由泛滥平原相发展到海岸平原和开阔浅海相。此时断裂活动不发育，只有一些小断距的断层，此时期为坳陷发育阶段，盆地内形成了良好的区域性盖层。

2. 地层

泰国湾盆地第三系几乎全部为非海相沉积，其生物地层控制十分有限。因此，地层划分只能根据电测曲线、地层地层学解释、岩性、化石和孢粉组合来进行。目前最通用的划分方

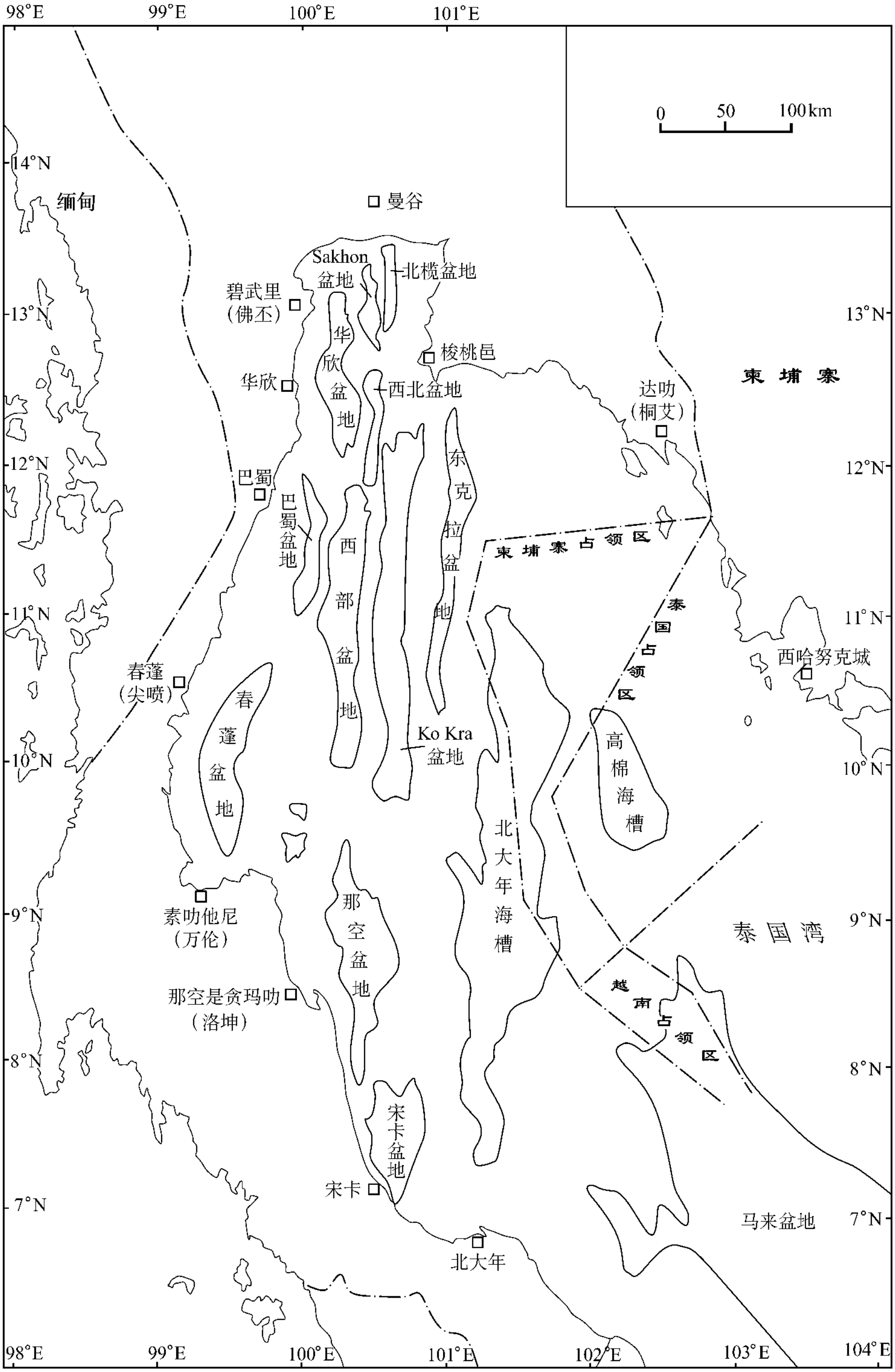


图 2－7－1　泰国湾盆地位置图（**据** Shaw，1995）

案是 Lian **和** Bradley **把泰国湾盆地第三纪沉积物划分成** 4 **个不同的地层单元。其下部** 3 **个地层单元为裂谷期沉积，而最顶部地层单元为裂谷后沉积**（**表** 2－7－1）。

泰国湾盆地一些井已钻遇到前第三系基底。其基岩由白垩系花岗岩、晚古生界和中生界

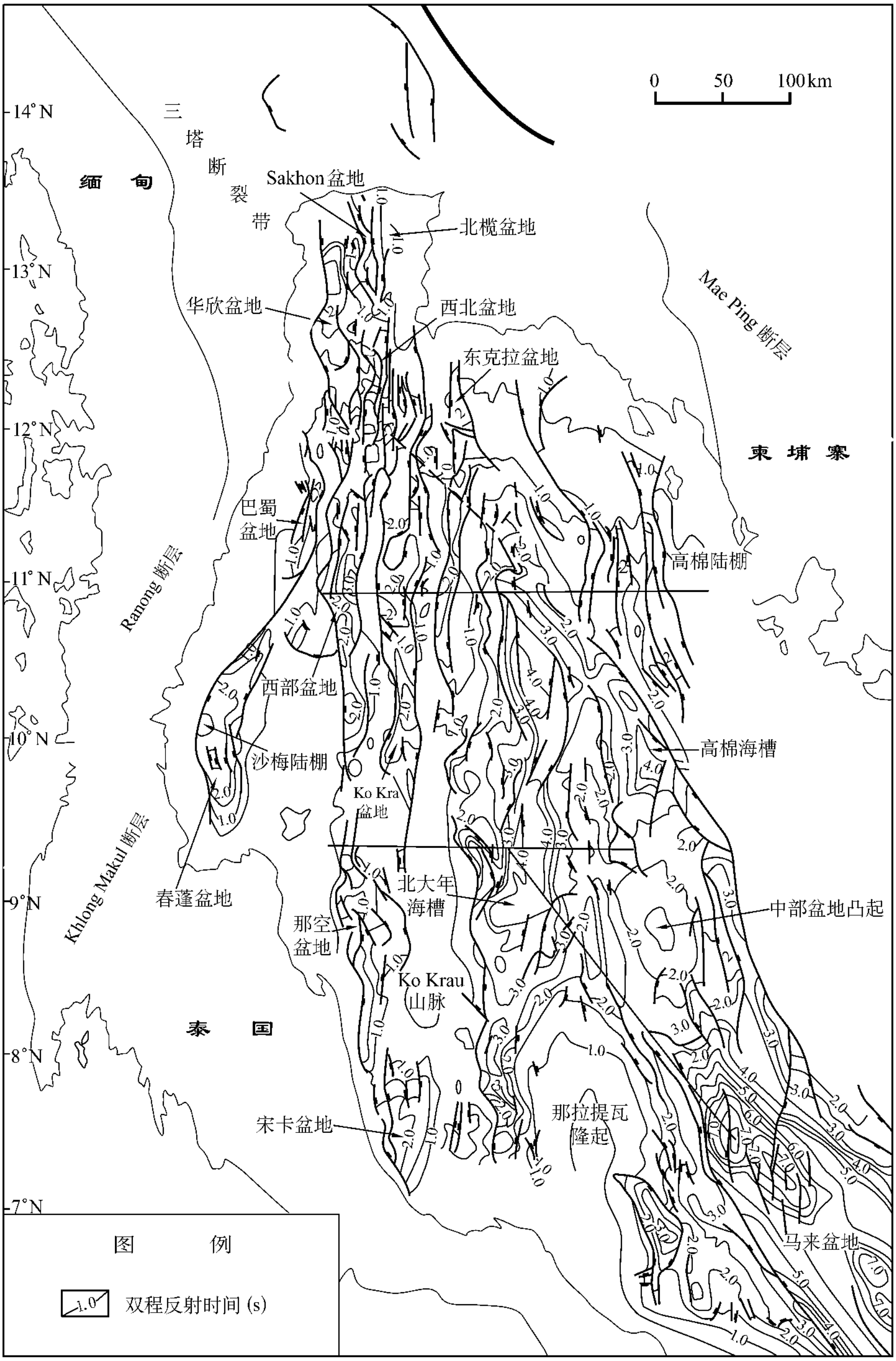


图 2—7—2 泰国湾盆地构造纲要图（据 Shaw，1995）

的沉积岩和变质岩组成。

1）单元Ⅰ（上渐新统—下中新统）

为一套河流和泛滥平原沉积。岩性为灰褐色（含少量杂色或红褐色）页岩（含少量的成熟有机质，有机质含量为 0.2%～0.8%），与砂岩互层，偶夹薄煤层，发育有欠压实带。页

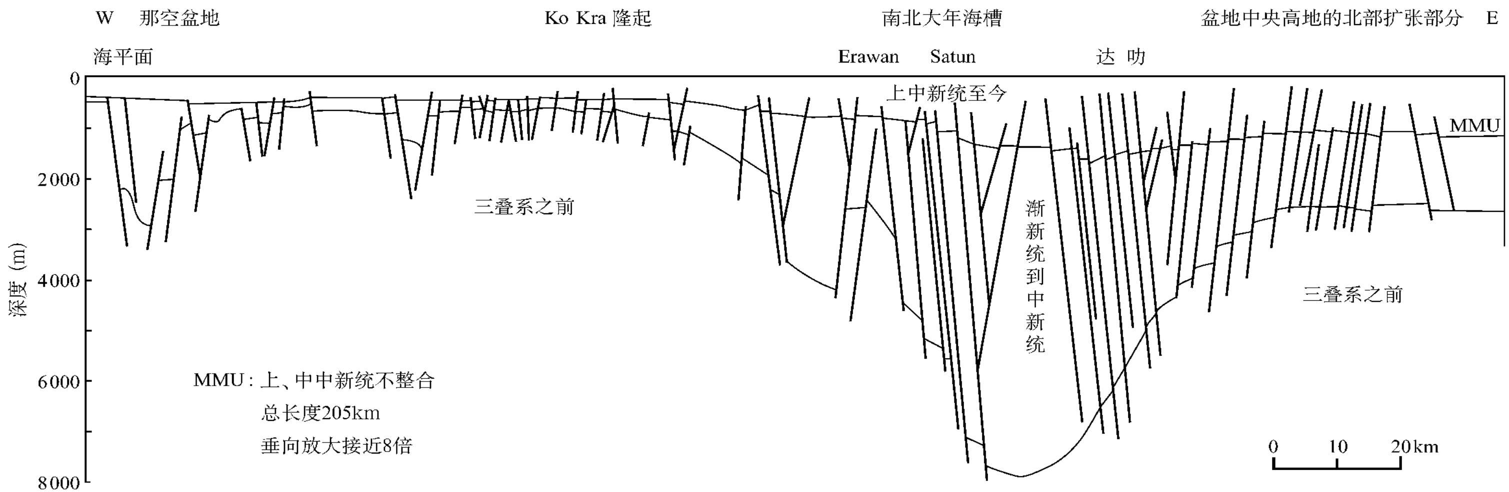
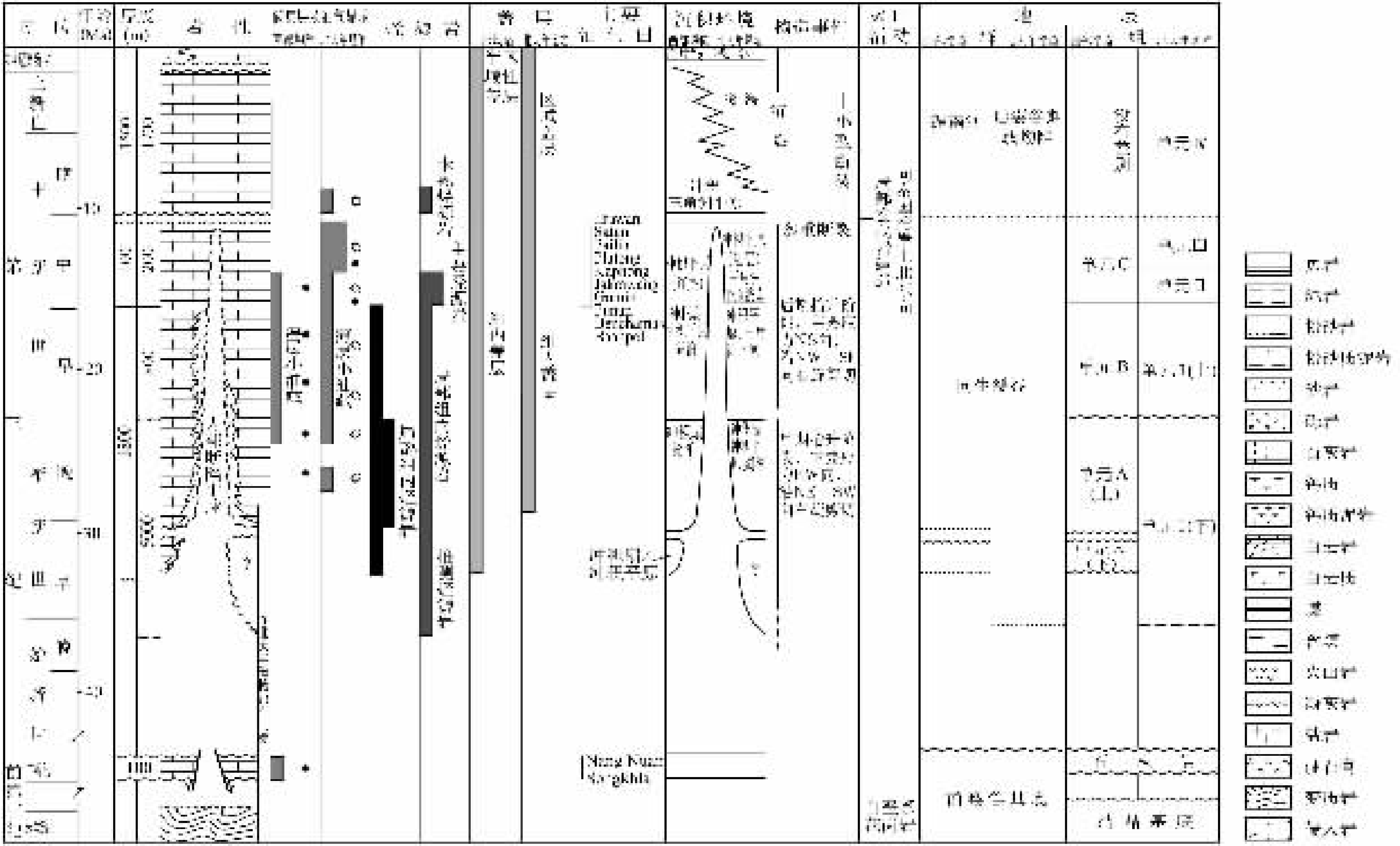


图 2—7—3　**泰国湾盆地东西向区域横剖面图**（**据** Liam，Bradley，1986）

表 2—7—1　**泰国湾盆地综合地层（引自** Ron Pattinson，Theodhora Piperi，1996）



岩已过成熟，R_o 一般大于 1.3%。顶部砂岩渗透率中等，下部砂岩渗透率较差。其沉积环境为河流、泛滥平原、季节性湖泊和沼泽沉积环境。估计最大厚度为 1937 m。底部与前三系基底呈不整合接触。

2）单元Ⅱ（下中新统—中中新统）

为一套广泛的湖泊和微咸水□湖沉积，并含有河道砂、三角洲及局限海沉积。其岩性为富含有机质的灰褐色页岩，并夹有薄而连续的煤层和砂层。煤层比较稳定，砂层横向分布受到限制，偶尔也有大面积分布，砂岩平均单层厚度为 4.5 m。干酪根以Ⅲ型和Ⅰ型为主，有机质为成熟—过成熟。该单元内常见欠压实带存在。其中大部分砂岩的储集性能中等，仅有小部分砂岩储集性能良好。地层厚度约 800 m，其底部有电测标志层。

3）单元Ⅲ（中中新统—上中新统）

为泛滥平原沉积，局部为三角洲平原、□湖—陆相沉积，包括分流河道和分流河道间沼泽及红树林沼泽沉积。其岩性为固结的杂色、红色、褐色泥岩和页岩，并夹有 15%的砂岩。砂岩平均单层厚度为 5 m，横向分布有限。泥岩中夹有石灰岩团块和结核及氧化植物残体。与单元Ⅱ呈过渡性接触，含有少量的薄层褐煤及煤。该单元地层中的有机质含量少，且未成熟。

干酪根以木质素为主，其次为草本植物。该地层单元砂岩储集层良好，地层厚 1■200 m，其底部有电测井标志。

4）单元Ⅳ（上中新统—第四系）

为红树林沼泽沉积，少量的非海相沉积，并有现今的海相沉积。其岩性为未固结的灰色泥岩和页岩，偶见砂层，常见薄煤层，含有少量白云岩。有机质含量丰富，但未成熟。沉积厚度为 1700 m，与单元Ⅲ呈不整合接触。

综上所述，泰国湾盆地第三系沉积分为以上 4 套地层单元。下部 3 个地层单元（即单元Ⅰ—Ⅲ）为裂谷期沉积，顶部地层单元（即单元Ⅳ）为裂谷后沉积。裂谷期沉积地层主要由泛滥平原、河流、河湖和湖相沉积物组成，而裂谷后沉积地层单元由泛滥平原、河流以及最上部的滨海和沼泽相沉积物组成。砂层主要发育在单元Ⅱ和Ⅲ中（下中新统—上中中新统），较厚的湖相泥岩发育在上渐新统—中中新统以及各盆地的深部。目前钻探到的最老地层为下渐新统，据推断在坳陷深部可能有始新世地层存在。

二、大地热流

由于裂谷作用的原因，泰国湾盆地的地温梯度很高，最高处位于北大年坳陷中部，该处目前的地温梯度为 4～6℃/100 m。然而，西部断陷区的地温梯度比北大年坳陷要低，约为 3.4～4.8℃/100 m。

三、火山活动

中中新世末发生过一次区域性构造活动，伴随有岩浆和火山活动，但火山活动不活跃。

四、含油气性

1. 烃源岩

泰国湾盆地西部多个坳陷的烃源岩及成熟度与北大年坳陷不同。前者以生油为主，后者以生气为主。

北大年坳陷的主要烃源岩为下中中新统单元Ⅱ，其中含有丰富的□湖至滨岸沼泽相的薄煤层和富含有机质的灰色页岩。煤的总有机碳含量（*TOC*）超过 40%，页岩的总有机碳含量（*TOC*）在 0.2%～2%以上。烃源岩中含有来自于藻类和陆生植物的有机质，既可生油

也可生气。但干酪根主要为富镜质组的干酪根，因此以生气为主。但有证据表明，不同的地区烃源岩的类型有所变化，质量有所差异；因而，各地区油的富集程度则因烃源岩的类型不同而变化，这就是为什么北大年坳陷的某些地区生油明显好于其他地区的原因。

此外，在渐新统至下中新统单元Ⅰ的上部还发育有烃源岩。该烃源岩含藻类较少，而富含镜质组，平均有机碳含量（*TOC*）不到0.8%，因此偏向于生气。

单元Ⅰ的下部尚未钻遇，但据古地质背景推测，应有烃源岩发育。它处于异常高压带，至少部分原因可能是生气之故。

泰国湾盆地的地温梯度很高，而在北大年坳陷中部目前的地温梯度为4～6℃/100 m。因此，盆地中部生油窗的顶部埋深约为1500 m，而在较冷的边部生油窗的顶部埋深约为2000 m。估计生气窗顶部埋深在盆地中部为2590 m左右；而在边部稍深（表2—7—2）。

表2—7—2　泰国湾盆地烃源岩指标

坳陷	北大年		华欣	Kro Kra	春篷（Chumphon）
烃源岩	单元Ⅰ	单元Ⅱ	TH—40上部	裂谷期沉积	裂谷期沉积
时代	渐新—中新世	中中新世	晚渐新世	渐新—中新世	渐新—早中新世
岩性	灰色页岩	煤、灰色页岩	煤、灰色页岩	页岩	页岩
平均 *TOC*（%）	页岩：0.2～0.8	页岩：≥0.2	页岩：0.73～5.0；煤：43	0.83～5.19	1.27～2.16
主要类型	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ/Ⅲ	Ⅰ/（Ⅲ）	
厚度（m）			>100		

单元Ⅱ的良好烃源岩可能在3.5 Ma前的早上新世就成熟并生气；如果单元Ⅱ的烃源岩更偏向生油的话，那么在晚中新世北大年坳陷中应该有大量的石油生成。

单元Ⅰ质量差得多的烃源岩可能从晚渐新世到现在一直在生气。

北大年坳陷中的气主要为甲烷（62%～72%）及凝析油，典型油藏中的凝析油为38～70bbl/10^6ft^3。此外，还有20%的二氧化碳，局部可高达65%。通常，二氧化碳的含量随深度的增加而增加。根据对相邻的马来盆地Bongkot油田的同位素研究表明，二氧化碳可能部分来源于地幔，而部分来源于碳酸盐胶结物的溶解。

西部断陷区烃源岩的形成时代比北大年坳陷的烃源岩要老，主要发育于晚渐新世到早中新世的地层中。这些烃源岩主要沉积于湖相环境并富含藻类物质，平均有机碳含量（*TOC*）从1%到5%以上，为优质生油岩，少量生气（表2—7—3）。

表2—7—3　泰国湾盆地烃源岩成熟及油气运移资料

坳　陷	北大年		华欣	Kro Kra	春篷	宋卡（Songkhla）
	中心	翼部				
现地温梯度（℃/100 m）	4.0～5.8	3.7～4.6	3.45～3.8	4.79	3.7	
生油窗顶深（m）	1　500	2　000	2　900	2　500		2　700
生气窗顶深（m）	2　590	2　900	3　900（?）			

续表

坳陷		北大年		华欣	Kro Kra	春篷	宋卡 (Songkhla)
		中心	翼部				
油开始运移时间（Ma）	单元Ⅰ	渐新世（725）		早中新世（17）			
	单元Ⅱ	晚中新世（9）		晚中新世（7）	晚中新世（7）		
天然气开始运移时间（Ma）	单元Ⅰ	晚渐新世（25）					
	单元Ⅱ	早上新世（3.5）					

西部断陷区的地温梯度比北大年坳陷要低，约为3.4～4.8℃/100 m。因此，烃源岩仍处于生油窗之内。生油窗的顶部埋深在Kro Kra和华欣坳陷分别为2 500 m和2 900 m，而生气窗的顶部埋深在3 900 m。

西部断陷区石油的比重为30°～42°API，石蜡含量稍高，气油比低和含硫量低。

2. 储集层

泰国湾盆地有2个主要的储集层段。从它们的工业价值角度来看，最重要的储集层段是晚渐新世至中中新世的裂谷期地层，包含了所有到目前为止发现的工业性气/凝析油田，在该储集层段只发现了少量的石油，但北大年坳陷北部富含石油。高棉（Khmer）坳陷在裂谷期地层中含有大量具商业价值的天然气。另一个储集层段为裂谷期前的二叠系碳酸盐岩，仅在西部断陷区含有商业价值或次商业价值的石油，在北大年坳陷因其埋藏太深而很难钻达，油气状况目前还不太清楚。

1）裂谷期砂岩

北大年坳陷的主要储集层为中中新世单元Ⅱ和单元Ⅲ中的三角洲沉积。上渐新统至下中新统单元Ⅰ及上中新统单元Ⅳ也产一些天然气。

储集层主要为河流相的河道砂，通常横向延伸不远且一般较薄，平均厚度5.5 m左右，通常为15 m厚，最厚可达24 m。此外，还包括三角洲平原的决口扇砂体及前缘河口坝砂体，所以储集层的几何形态很复杂，尤其是在断裂很发育的情况下。但是，由于垂向上储集层都叠置在一起且1口（斜）井就钻遇10到20层含气砂岩的现象并非罕见。

尽管偶尔也发育有非常粗的砂岩，但大多数砂岩都很细且向上变细。北大年坳陷砂岩的组分很稳定，大多数砂岩岩屑含量高于长石，岩屑通常占岩石总量的20%，且一般由泥岩岩屑和粉砂岩岩屑组成，有时也包含燧石、碳酸盐岩岩屑及片岩岩屑。

砂岩的孔隙度随深度增加而降低，从1 450 m的27%下降到2 440 m的15%～17%。岩心分析表明孔隙度与渗透率之间有很好的相关关系。这2个孔隙度值所对应的渗透率分别为1 μm^2 和 10×10^{-3} μm^2。

由于地温梯度高而地层水的含盐度低，砂岩受到了强烈的化学成岩作用改造，导致孔隙度损失达11%/km。这比墨西哥湾相似砂岩高出3倍。因此，在北大年坳陷，产层的埋深一般为1 200～2 900 m，超压出现在2 285 m左右。

在西部断陷区，砂岩储集层具有类似的特点，但含油很少（如宋卡坳陷）。在华欣坳陷，有大量的储集砂岩，3个主要地层单元净砂岩厚度都在100 m以上，1 000 m深处的测井孔隙度高达25%～30%，但2 700 m深时则下降到12%（表2—7—4）。

表 2—7—4　储集层特征随深度变化

地层分带	深度（m）	胶结物	平均孔隙度（%）	渗透率	孔喉	压力
浅部	915～1980	少量石英/高岭石	21～27	高	16～25μm	正常
中部	1980～2285	石英次生加大/高岭石	17～21	中等	连通变差	顶部正常 底部超压
深部	2285～3050	粘土和石英	<17	低	1.3～3μm 连通差	超压

2）前裂谷期碳酸盐岩坳陷

在春篷和宋卡坳陷二叠系的浅海碳酸盐岩（相当于 Ratburi 组）含油。该单元的石灰岩和白云岩发生了破裂并长期暴露于地表遭受风化；溶孔很发育，而基质的孔隙度可能很低，产量主要取决于天然裂缝系统。石油储量相对较小，仅有 2 个油田（Nang Nuan A 和 B）投入运营，且仅有部分成功。

3. 盖层

在北大年坳陷的渐新统至中中新统的裂谷期储集层序列及上覆上中新统的后裂谷期地层单元中，页岩所占的比例大于砂岩，因此盖层不成问题。单个砂岩储集层都被相邻的页岩夹层所封闭，这些页岩夹层沉积于分流河道间湾环境或湖相及海相环境，其厚度可达 10 m。湖相及海相页岩的封闭性较好；而分流河道间湾沉积的页岩非均质性较强，含贼层，因而封闭性较差。因此，并非所有的砂岩都很好地封闭，这也可能因为缺少横切断层的封闭；因为大多数砂体是靠这种方式形成圈闭的。从总体而言，因为断层面上发育有断层泥，很小的断层都能起到封闭作用。

在西部断陷区的许多坳陷中，尽管单个泥岩层的厚度可达 10～30 m，但其中砂岩所占的比例高于北大年坳陷。所以，盖层的封闭性更差，一方面是由于页岩层较少，另一方面断层面上缺少泥质物。

在西部断陷区，前裂谷期碳酸盐岩含油气组合的盖层主要由渐新世—中新世裂谷期的页岩提供。

地层单元Ⅳ上部上新世到近期的泥岩沉积于更大的范围，为该盆地最上、最后的盖层。

4. 油气生成与运移

在北大年坳陷，目前大多数天然气产自中中新统单元Ⅱ和Ⅲ，即深度范围为 1 200～2 800 m。因此，产层位于超压带之上，该超压带开始于单元Ⅱ底部附近（表 2—7—5）。

表 2—7—5　北大年坳陷西部油田产层埋深与超压带的关系

油　田	产层顶深（m）	产层底深（m）	超压带顶深（m）
Erawan	1 200	2 860	2 225
Funan	1 341	2 774	2 134～2 743

Satun 和 Baanpot 油田单元Ⅲ凝析油生物标志地球化学的研究表明，这些凝析油来源于下伏单元Ⅱ的烃源岩。

假设单元Ⅲ厚约 1 000～1 200 m，单元Ⅱ厚约 500～800 m，那么，气田中单元Ⅱ的

底部埋深应为3 000 m；这就是说正好位于生油窗的上部（生油窗的顶部埋深为2 600～2 900 m）。因此在气田间的构造低部位，单元Ⅱ的烃源岩正好在生气窗内。

单元Ⅱ中的一些气仅仅运移了很短的距离就进入到了砂泥岩互层的储集层中。然而，更多的气将会运移得稍远，当然距离仍然很短，进入到上覆单元Ⅲ的砂岩中去。就生气而言，单元Ⅰ、Ⅱ尚未成熟。

缺乏重要的区域性砂岩输导层很重要，这可从单元Ⅱ的底部普遍出现异常高压得到印证，这意味着侧向运移很困难。众多对地层产生影响的断层为主要的运移通道。未受断层影响的上新世泥岩会阻止油气向地表散失，起到良好的保护作用。

中中新世单元Ⅱ自晚中新世以来主要生油，而自早上新世以来主要生气。主要构造圈闭形成于中中新世晚期，因此这一时期的运移特别有效，断层多，运移距离短，气直接进入邻近或稍远的砂层。

渐新统至下中新统单元Ⅰ中潜在烃源岩的作用尚不太清楚；探井仅钻遇单元Ⅰ的上部，它也是中等到较好的烃源岩。但质量更好、沉积于湖相环境的烃源岩可能埋藏更深。无论如何，储量大的气田，如Erawan气田，与延伸至基底的主要断裂间有明显的关系。这意味着单元Ⅰ下部未钻遇的烃源岩向北大年坳陷中的构造提供过气。北大年气田存在大量的二氧化碳也可看作为部分气来自于深部烃源岩的证据；这是因为二氧化碳部分来源于地幔，可能部分来源于深埋的碳酸盐岩。

根据现今地温梯度估计，单元Ⅰ底部可能于晚渐新世开始生气。北大年坳陷中储存于中中新统中的某些天然气源于深部，并沿一系列的大断层进入到现在的位置。

由于天然气运移可能发生在主要储集层沉积和圈闭形成的主要时期（晚、中中新世）之前和期间，因此有些气可能在该时期之前就逸失到地表或就地圈闭起来了。

单元Ⅰ异常高压层中的天然气可能仍在沿上覆层中的主要断层或上覆地层中的一系列微裂隙向外运移。无论是哪种情况，一旦烃源岩层形成异常超压，运移只能间歇性发生，并取决于超压层与上覆层间的压差。

在西部断陷区，最大沉积厚度和地温梯度都比北大年坳陷的要小，所以只有很少一点烃源岩位于生气窗。但是，大部分烃源岩都位于生油窗，其顶部埋深约在2500～2800 m。大多数晚渐新世至早中新世的烃源岩从晚中新世开始生油，即从主要构造形成时开始生油。

生成的石油不会太多，这可能因为湖相烃源岩仅局部发育之故。生成的石油可能经短距离运移后进入箕状断陷的缓坡一侧。由于缺乏区域性输导层，运移主要是沿断层直接进入与烃源岩互层的透镜状砂岩储集层。

在春篷和宋卡坳陷，二叠系碳酸盐岩中发现了蜡质原油，这些原油可能仍来源于渐新世的湖相页岩并沿断层和前第三系不整合面运移。

5. 含油气组合

泰国湾盆地发育1个主要的含油气组合，即渐新统至中中新统含油气组合；1个次要的含油气组合，即前第三系含油气组合。

1）含油气组合类型

（1）渐新统至中中新统构造含油气组合。主要特征为北大年坳陷中单元Ⅱ和单元Ⅲ中的中中新统河流—三角洲砂岩作储集层。在某些气田中，下伏单元Ⅰ（上渐新到上中新统）和上覆单元Ⅳ（上中新统）的砂岩中也发现了天然气。

这些砂岩一般沉积于与海洋或湖泊三角洲有关的河道中，当然也发现有河口坝和决口扇砂体。含气砂层多，1 口井中常见 10～20 层含气砂岩。

这些砂岩层一般与沉积于海相、湖相或分流间湾环境的页岩互层，常富含有机质和煤层，这些页岩不仅为层内盖层，而且是该含油气组合的主要烃源岩。

在许多遭受断层强烈破坏的背斜中发现大量的天然气和凝析油。这些背斜带的发育可能受控于基底的重要区域性构造。通常存在 1 条主要断裂，或一系列延伸至前第三纪基底的断裂，并伴生有大量的反向断裂发育。一些这样的断裂在沉积时可能会发生移动，从而形成滚动背斜；但大多数断层只造成 2 条断层间地层发生旋转，从而形成广泛的低倾角背斜构造。

大多数天然气聚集都是靠断层遮挡，由于断层发育，大多数气田都由大量相对较小、受断层限制的天然气聚集。由于大多数储集层呈带状分布，所以含气砂体的分布及几何形态受地层变化的控制。当然并非所有的砂体都含气。

在泰国湾盆地中，33 个油气田及具次要商业价值的发现中具有渐新统至中中新统构造油气藏，含有该盆地所有的气和凝析油及 84.5%的石油储量。

（2）前第三系含油气组合。最早发现于西部断陷区，因为在那里埋藏较浅。其储集层由二叠系浅水石灰岩和白云岩组成，这些岩石在印支运动中遭受破裂并在渐新世前长期暴露地表遭受溶蚀，孔隙度和渗透率的大小主要取决于溶洞和裂缝的发育程度。

在泰国湾裂谷系发育初期（渐新世）的拉张阶段，二叠系的碳酸盐岩及其他前第三系的岩石都能受到正断层的影响。晚、中中新世的断裂作用产生一系列的地垒和半地垒，成为主要的构造圈闭。

在某些早期裂谷中可能沉积有富含藻类的湖相页岩，构成主要的盖层和烃源岩层。在 4 个油气田的该组合中发现了蜡质、低气油比的原油，它们是 Nang Nuan“A”及“B”（春篷坳陷）、宋卡和 Bua Ban（宋卡坳陷）。

在 4 个油气田/发现中见有前第三系构造油气藏，储集了该盆地 15.5%的油，但只有 0.01%的气。

2）含油气组合的分布

渐新统至中中新统含油气组合只分布于断陷及箕状断陷中，包括北大年、高棉及西部断陷区所有的裂谷型坳陷。它在主要的构造型地垒缺失上（如 Kro Kra 隆起）和浅水台地上（如 Samui、那拉提瓦隆起和高棉陆棚）。

前第三系油气藏分布于西部断裂区的浅裂谷中，这些裂谷中发育了适当的生储盖组合。它也可能分布于这些裂谷之外的前第三纪基底埋藏较浅的地方，但那些地方最大的风险是可能缺乏盖层。该组合至今尚未在泰国湾盆地东部发现，但极可能存在。

6. 含油气系统

泰国湾盆地发育了 2 个含油气系统，最重要的一个为渐新统—中中新统含油气系统，其中的主要烃源岩和储集层互层。这是在北大年和 Khmer 坳陷及西部断陷区目前知道的惟一一个有效含油气系统。

另一个含油气系统为渐新统/下中新统—二叠系含油气系统，为次要含油气系统。目前仅发现于西部断陷区的春篷和宋卡坳陷。

1）渐新统—中中新统含油气系统

在不同地区、不同层位渐新统—中中新统含油气系统的烃源岩质量有所不同。在北大年

坳陷南部，主要烃源岩为中中新统单元Ⅱ，大多数气田分布于此。由于地温梯度较高，该序列可能自晚、中中新世开始生油。在该地区仅有少量石油发现表明烃源岩为腐殖型，不利于生油。

在北大年坳陷构造低部位，单元Ⅱ在晚上新世进入生气窗。随后，断背斜构造（中中新世时已完全形成）中的砂岩在过去的3.5 Ma中接受了充气。尽管断层面两边砂岩与砂岩接触可能会导致天然气部分逸散，但是这些砂岩与厚层页岩互层，因此盖层没有问题。

在北大年坳陷，渐新统—中中新统含油气系统还含有另一套烃源岩，即渐新统至下中新统的单元Ⅰ（图2—7—4）。这套湖泊或沼泽相烃源岩的质量从差到中等。但是，在该坳陷深部，至少有4000 m厚的渐新统单元Ⅰ的沉积物尚未钻遇，而区域研究表明有相当一部分可能为湖泊相烃源岩。

这部分烃源岩早在晚渐新世就已成熟并生气。但这些气运移到何处去了，却知之甚少；也许有的气仍被圈闭在单元Ⅰ超压层的透镜状砂体中，有的可能已散失至地表。尽管单元Ⅰ为超压层，但至今可能还在生气；但有的气可能还是通过断层或微裂隙运移至中中新统砂岩中。

由于晚、中中新世时断层重新活动，单元Ⅰ中的天然气聚集可能会遭受破坏，但气会运移到中中新统的储集层中去。

自晚、中中新世以来几乎没有断裂活动，仅为全盆地整体下降，广泛沉积了海相页岩。所以，渐新统—中中新统含油气系统的保存力很强。

2）渐新统/下中新统—二叠系含油气系统

在春篷和宋卡坳陷该含油气系统的特点是石油从渐新统至下中新统的湖相烃源岩向多个地垒中的二叠系碳酸盐岩运移。

经过长期暴露于地表之后，二叠系碳酸盐岩在渐新世时被裂谷中沉积的富含有机质的湖相泥岩所覆盖，该泥岩沉积一直持续到整个中中新世，这些厚层烃源岩自早中新世开始成熟生油，且至今仍多数处于生油窗之内。

而含有二叠系碳酸盐岩的构造圈闭可能在盆地的裂陷初期，即渐新世就已经形成。但这些圈闭更可能形成于晚、中中新世的断裂活动期。渐新统—下中新统烃源岩（单元A和B）生成的油可能自晚中新世至今沿着前第三系不整合面及断层运移至含有二叠系碳酸盐岩的地垒中。

由于这些圈闭与延伸至上覆第三系的断层有关，因此可能有部分已逸失。

7. 油气储量及丰度

1996年底据泰国湾盆地所有油田和发现的统计，其最终可采储量油为64.366×10^6 bbl，凝析油329.385×10^6 bbl，天然气100 965.12×10^8 ft^3，其油气丰度见表2—7—6。

表2—7—6　泰国湾盆地油气丰度（1996）

类　型	油	凝析油	气	总　量
油气丰度	377 bbl/km^2	1■930 bbl/km^2	59.2×10^6 ft^3/km^2	12■168 bbl（油当量）/km^2

8. 主要油气藏类型

主要油气藏类型为构造、构造—地层及断层遮挡油气藏。

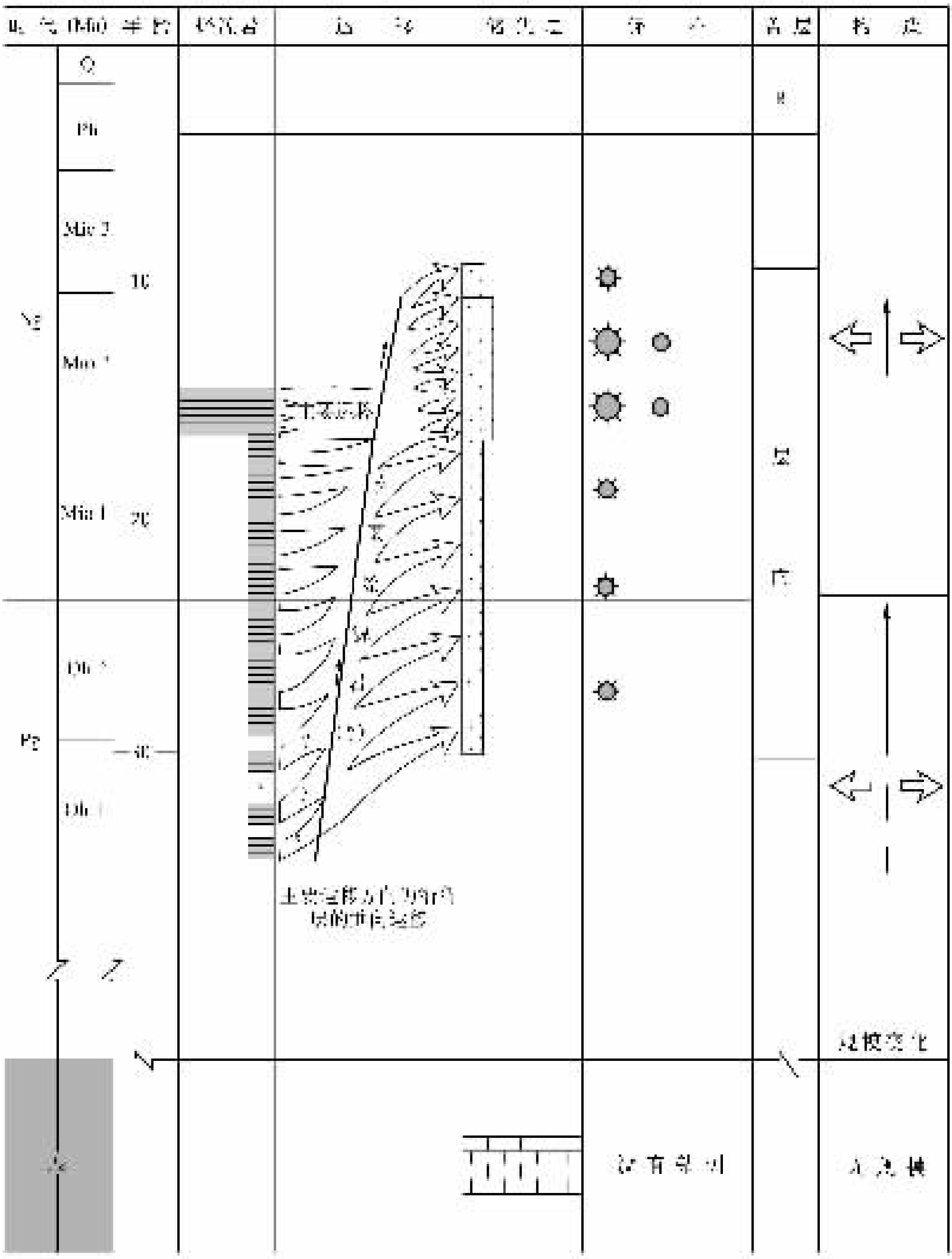


图 2—7—4　泰国湾盆地北大年坳陷含油气系统概要图

（**引自** Ron Pattinson，Theodhora Piperi，1996）

9．油气田分布

由于勘探程度的限制，目前所发现的油田还主要位于北大年坳陷（**图** 2—7—5），**各油气田的概况见表** 2—7—7。

表 2—7—7　泰国湾盆地油气田概况

序号	油气名称	地理位置	发现日期	投产日期	类　别	作业者	天 然 气 (10^8 m^3)	油或凝析油 (10^8 m^3)
1	Erawan	北大年坳陷	1973	1981.8	凝析气田	Unocal	573	480
2	Baanpot	北大年坳陷	1974	1983.10	凝析气田	Unocal	169.9	205.5
3	Satun	北大年坳陷	1980	1985.10	凝析气田	Unocal	707.9	547.9
4	Platong	北大年坳陷	1976	1985	凝析气田	Unocal	226.5	205.5
5	Funan	北大年坳陷	1981.9	1992.2	凝析气田	Unocal	1359.2	
6	Surat	北大年坳陷	1988.3	1992.5	油气田	Unocal	8.5	19.07
7	Kaphong	北大年坳陷	1979	1989.7	凝析气田	Unocal	212.0	
8	Pakarang	北大年坳陷	1982		凝析气田	Unocal		
9	Jakrawan	北大年坳陷	1976		凝析气田	Unocal	339.6	136.9
10	Pladang	北大年坳陷	1981		凝析气田	Unocal	169.8	
11	Trat	北大年坳陷	1981		凝析气田	Unocal	34×10^4 m^3/d	68.7 m^3/d
12	Dara	北大年坳陷			凝析气田	Unocal		
13	Gomin	北大年坳陷			凝析气田	Unocal		
14	Moragot	北大年坳陷	1990		凝析气田	Unocal	1.2×10^4 m^3/d	
15	Pailin	北大年坳陷	1990		凝析气田	Unocal	127×10^4 m^3/d	
16	Tantawan	北大年坳陷	1992		凝析气田	Unocal		
17	Ubon＃1	北大年坳陷	1992		凝析气田	Unocal		322.7 m^3/d
18	Nang Nuan	春篷坳陷	1987	已停产	油田	Shell		238
19	6—2	北大年坳陷北部	1974		油发现井	Unocal		
20	5—1—1	北大年坳陷北部	1978		油发现井	Unocal		
21	Songkhal—1	宋卡坳陷	1988		油发现井	Premier		228 m^3/d
22	Bua Ban—1	宋卡坳陷	1990		油发现井	Premier		119 m^3d
23	Bongkot	马来盆地西北部	1973	1993.7	凝析气田	Total	2■038.8	1017.5
24	E	马来盆地西北端	1981		气田		56.69	

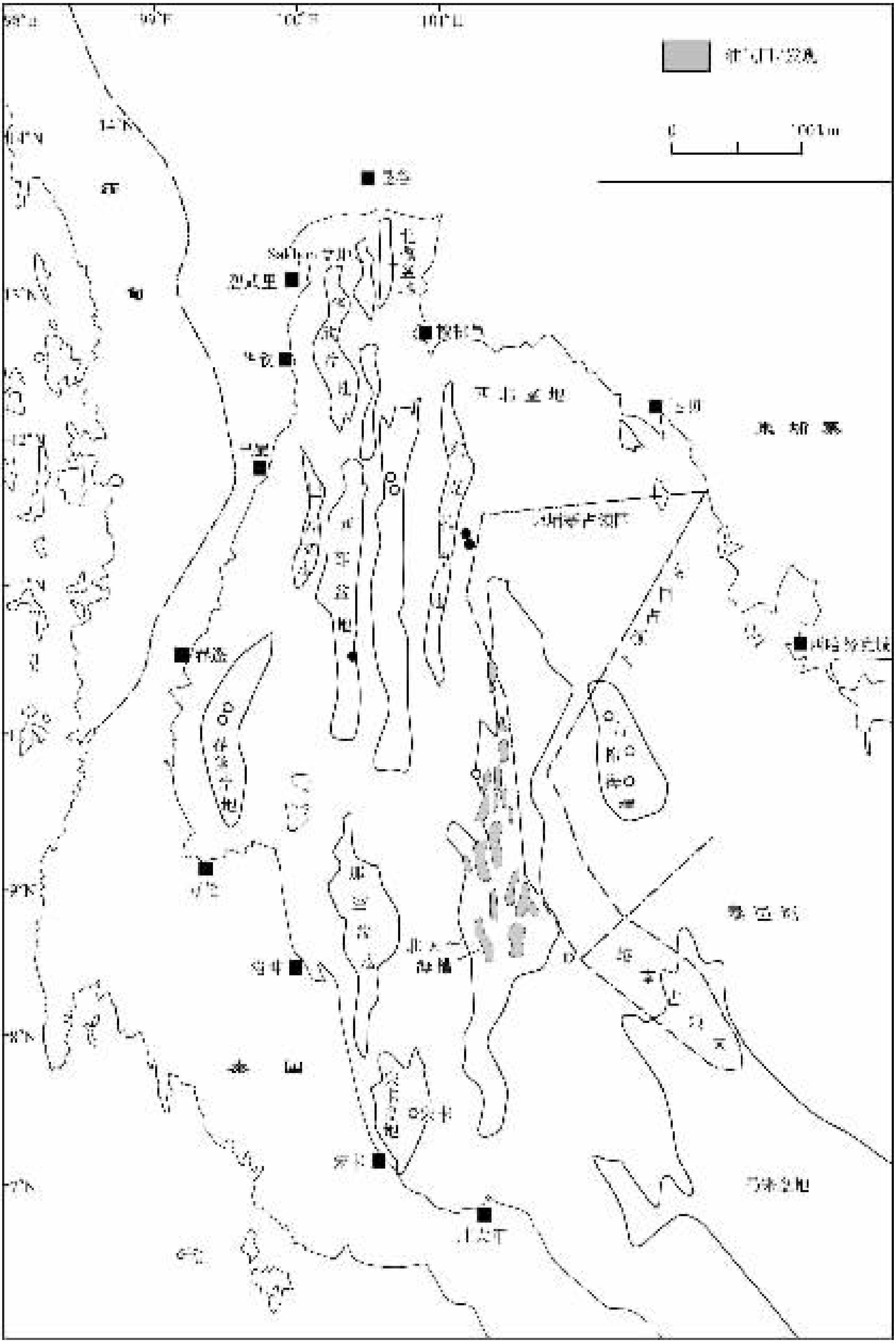


图 2—7—5　**泰国盆地油田分布图**（**引自** Ron Pattinson，Theodhora Piperi，1996）

10. **大油气田和典型油气田（藏）**

Erawan 凝析气田位于曼谷以南 520 km 的海上，水深大约 64 m。该凝析气田发现于 1973 年，1981 年投入生产。该凝析气田位于泰国湾 B—12 合同区块内。在地质构造上位于北大年坳陷中南部，为一南北向狭长背斜构造，长约 28 km，宽约 8 km。含气面积 90 km^2，平均产层净厚度为 37 m，含水饱和度为 40%～60%，天然气可采储量为 4 765.27×10^8 m^3。

Erawan 构造被南北向张性断层所复杂化（图 2—7—6、图 2—7—7），被分割成许多小断块，至少有 5 个断块，各自形成独立的气藏。Erawan 构造西侧为一断至基底的东倾正断层。靠近地堑部分为向盆地中心倾斜的辅助断层，未断入基底。而断入基底的大正断层，不同部位具有不同的地层厚度，表明断裂活动和沉积作用是准同时发生的。构造东侧为东倾断层，在旋回Ⅱ基底处的垂直断距有 200 m，足以截断东倾的辅助断层。

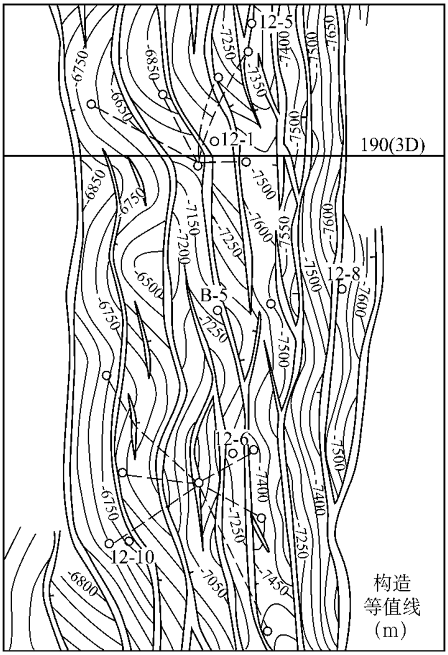


图 2—7—6　Erawan 凝析气田构造图
（据 P. G. Western，B. Davis，1993）

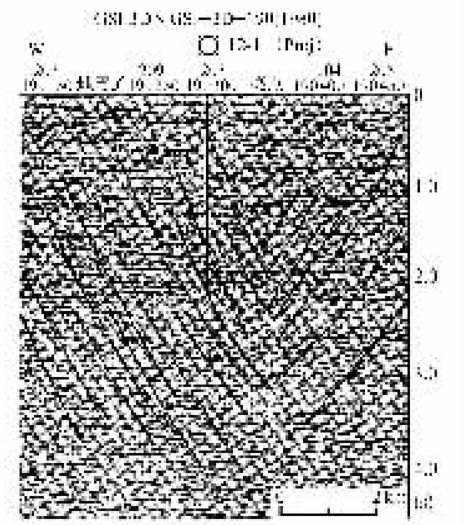


图 2—7—7　Erawan 凝析气田三维地震剖面图
（据 P. G. Western，B. Davis，1993）

Erawan 凝析气田区地层主要由新近系碎屑岩组成，最大沉积厚度超过了 6 100 m。以非海相河流—三角洲相沉积为主，也有浅海相到边缘海相沉积。

Erawan 凝析气田产层以下—中中新统砂岩为主。储集层埋深在 1 220～2 860 m，属于三角洲分流平原相的决口扇和分流河道砂岩，多为透镜体状，分布不连续，横向变化大。其产层由多个砂岩复合体组成，砂岩单层厚度不等，一般为 1.5～15 m，最大为 30 m，平均为 4.5 m。孔隙度为 12%～30%，平均为 23%，渗透率为 250×10^{-3} μm^2。

Erawan 凝析气田 1 925 m 以上为正常压力梯度；在此深度以下，为强烈超压段。在 3 000 m左右，压力达到 41.4 MPa。地层温度在 2 750 m 时为 163℃，在 3 517 m 时达到 390℃。

天然气组分中含有大量的二氧化碳，其二氧化碳含量随着埋藏的增加而增加。在1 200 m时，二氧化碳含量小于6%；而在2860 m深处，二氧化碳含量大于38%，平均二氧化碳含量为14%。

到1993年底，该凝析气田证实可采天然气储量476.27×10^8 m^3，证实追加可采储量为573×10^8 m^3。现有18个井口平台，共钻263口井，其中234口井为开发井，29口井为探边井。目前日产天然气890×10^4 m^3（约占泰国湾总日产天然气的40%），凝析油日产量约为1 600 m^3。到1993年底累计生产天然气为260×10^8 m^3，凝析油约为300×10^4 m^3。

Erawan凝析气田能够成功地开发，最主要的是Unocal公司综合应用先进的三维地震技术、钻井技术和建模技术的结果。例如，使用三维地震资料可以准确确定河道砂体的分布，使钻遇储集层的成功率增加；另外还根据气藏的特点，实施了加密钻井计划，通过钻45口加密井，使可采储量新增加了40×10^8 m^3，使得该气田的经济效益大为增加。

11. 勘探开发历程及现状

1971年在泰国境内打了第1口钻井，自1986年在该区获准勘探以来，Conoco、阿莫科(Union Oil Unocal)、Gulf和Elf公司开始进行地震勘探。Unocal公司的盲目钻井在泰国湾盆地发现了Erawan12－1气田，它是该盆地最大的天然气/凝析油田。二维和三维地震测线约223 000 km，已钻94口，获得了36个发现；其中只有3个发现位于柬埔寨境内，这36个油田含油15×10^6 bbl，至少占该盆地所有发现的45%（1987—1996年间达53%），占该盆地可采储量的2.4%。

在柬埔寨没有发现进入开发及生产阶段，而在泰国则有10个油气田正在进行生产，一个被临时关闭。最早的油气生产是1981年在Erawan油田，1981—1995年间共产油93.9×10^6 bbl，气$25\ 165\times10^8$ ft^3。已建成从Erawan气田至海岸的管线425 km，并有一些短距离的海底管线，将某些油气田与Erawan连接。

目前，仅在泰国湾盆地东部北大年坳陷的中南部勘探程度较高；北大年坳陷北部尚未勘探，但被认为前景很好。高棉坳陷尚处于勘探的早期阶段；西部断陷区还未勘探，但认为前景较差至中等。

五、小　结

(1) 泰国湾盆地含有丰富的中中新统湖相、三角洲相/滨岸相烃源岩，能生成大量的天然气；渐新统至下中新统烃源岩目前处于异常高压带内，也具有生气能力。沉积物快速堆积加之高的地温梯度，使得烃类能够大量生成；中中新统烃源岩自晚上新世开始大量生烃，渐新统烃源岩自晚渐新世开始生烃。

(2) 中中新统砂岩为很好的储集层，而且，这些砂岩层一般与烃源岩呈互层状或正好位于烃源岩之上，因此，极有利于捕获油气。此外，储集层内部存在很多泥岩隔层，可起到较好的封闭作用。

(3) 盆地内断层发育，为油气运移提供了很好的通道，有的断层还穿过超压层延伸至基底，因而有利于下部烃源岩生成的气运移至上部储集层中去；另一方面，一些断层因断层泥的存在又起到良好的遮挡作用。

(4) 主要构造形成于晚中新世，即主要储集层沉积之后，而又在主要烃源岩大量生烃之前，故有利于捕获油气。

(5) 二叠系碳酸盐岩因风化溶蚀形成大量次生孔隙，也是很好的储集层。

(6) 在西部断陷区，烃源岩正处于生油窗之内，有利于生成石油。

（7）沉积物快速堆积和地温梯度高是这类盆地的一大特点；火山活动并不强烈。

参考文献

郑之逊. 1993. 南海南部海域第三系沉积盆地石油地质概况. 国外海上油气

Charles R W. 1992. Funan Field—first gas production from the eastern pattern basin, National Conference on "Geologic resources of Thailand: potential for future development", November, Bangkok, Thailand

"Malaysian—Thai JDA Contracts Signed", Petromin, May, 1994, Vol. 20, No. 5

Nares Sattayarak. 1992. Petroleum exploration opportunities in Thailand, National Conference on "Geologic Resources of Thailand: potential for future development", November, Bangkok, Thailand

Western P G, Davis B. 1993. Erawan Field: A young elephant, the First Twenty Years, ASCOPE 935123

Songpope Polachan, *et al*. 1991. Development of Cenozoic Basins in Thailand, Marine and Petroleum Geology Vol. 8, No. 1

Surawit Pradidtan, *et al*. 1992. Petroleum geology of the northern part of the Gulf of Thailand, National Conference on "Geologic Resources of Thailand: Potential for Future Development", Nov., Bangkok, Thailand

Tertiary sedimentary basins of the Gulf of Thailand and South China Sea: stratigraphy, structure and hydrocarbon occurrences. 1993. Asean Council on Petroleum (ASCOPE)

第八节　西北巴拉望盆地

西北巴拉望（Northwest Palawan）盆地位于南中国海东南部，菲律宾巴拉望岛的西北部陆棚内，走向北东，与巴拉望岛平行（图 2—8—1），其向陆地方向以大陆隆起为界，向海方向以第三系与上古生界和下中生界区域性变质基岩的交接处为界。东北界为活动俯冲带（马尼拉海沟，西南面为 Reed Bank 微型陆块，并以南北向延伸的乌卢甘湾（Ulugan Bay）断层向海方向的延伸为界。西北巴拉望盆地被乌卢甘断层和阿尔比让断层分为北、中、南 3 个断块：北部被认为是中生代晚期从亚洲大陆边缘分离出来的微陆块，具有陆壳特征；而南部为白垩纪—古近纪蛇绿岩及伴生的硅质沉积，具有增生楔的特点（图 2—8—2）。其盆地面积 14 000 km^2。

一、区域地质

1. 盆地演化

1）基底

北巴拉望陆上部分与中国大陆地质特征的相似性说明，西北巴拉望盆地底部的基底由早古生代和晚古生代的低度变质岩组成（主要为二叠系—三叠系），为边缘海至深水（大洋）环境，这一证据表明，在中国南方燕山与印支造山运动期间，它们已经变形和变质，于是在大陆漂移期间已形成北东—南西向的构造格局。

2）前第三纪同生裂谷期（65 *Ma* 以前）

在侏罗纪末至早白垩世，北巴拉望陆地属于南中国大陆安第斯型边缘的一部分，在其向

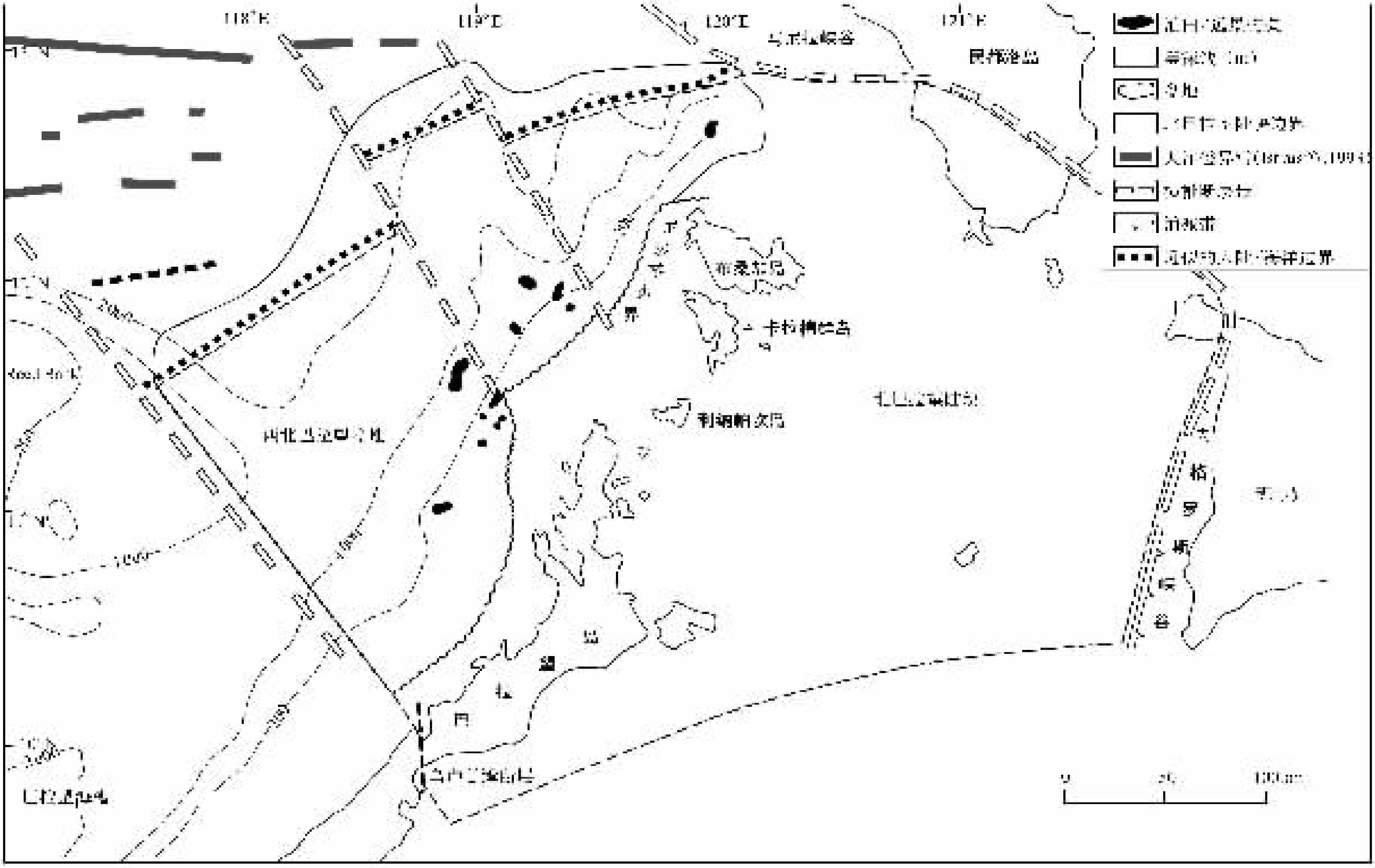


图 2－8－1　**西北巴拉望盆地位置图**（**引自** R. J. Bailey，Gary Dunning，1995）

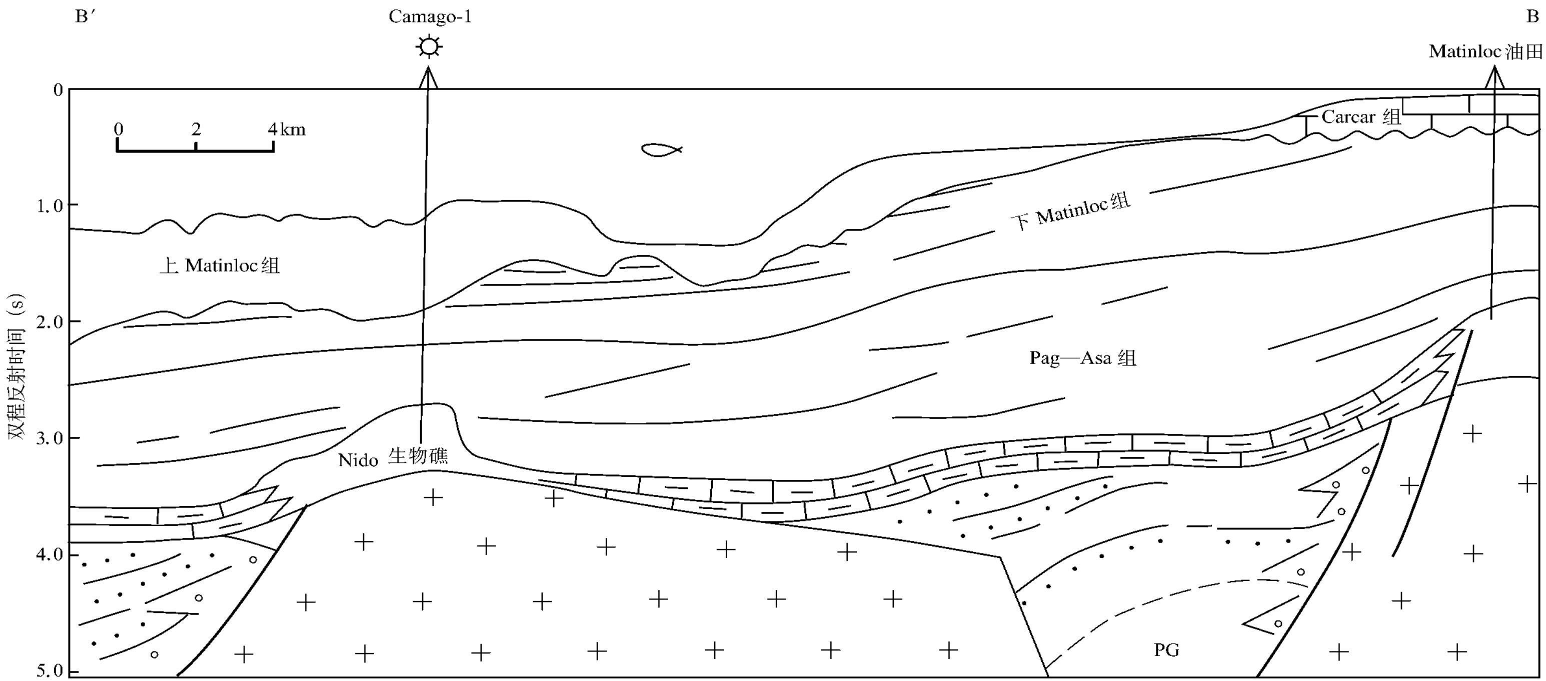


图 2—8—2　西北巴拉望盆地中部主要构造单元剖面图（**引自** R. J. Bailey，Gary Dunning，1995）

陆的一侧发生了酸性和中性岩浆活动。盆地内的下白垩统由深海相石灰岩和页岩组成，夹有火山碎屑岩；向北东方向变粗，形成高能环境的滨海沉积与火山碎屑岩，最终为陆相沉积。这些特征标志着前第三纪同生裂谷沉积初期，是中国南方大陆边缘弧后扩张的开始。

板块聚敛和弧后扩张速度的下降使东西向或北东向延伸的晚白垩纪裂谷重新开始下沉。裂谷期的碎屑岩和中酸性火山碎屑岩充填了中国南方大陆边缘下面的裂谷；但在西北巴拉望盆地，钻穿上白垩统的井不仅钻遇非海相沉积物，而且钻遇浅海碎屑岩。

白垩纪末期，由于南中国海地区板块运动的重新开始，向中国南方下面的西北向俯冲和伴随的安第斯型岩浆活动从此结束。这使得太平洋洋壳俯冲的位置从中国南方大陆更进一步向海方向（东南方）移动，而北巴拉望微型陆块仍然连接在中国南方大陆上。

3）**古近纪裂谷/ 裂谷后期**（65—38.6 *Ma*）

最近对南中国海区域构造的研究表明，第三系底部的区域性不整合面标志着中国南方大陆边缘新一轮裂陷的开始。最初（晚白垩纪至古新世）的裂陷作用为弧后背景下地壳的继续扩张。对南中国海地区主要区域构造单元的恢复表明，北巴拉望陆块在经历这场北西—南东向区域性扩张时仍与中国大陆保持着紧密结合，并由北西—南东向的早第三纪地垒和地堑组成。

西北巴拉望盆地位于古近纪至新近纪台地型和生物礁灰岩之下，第三系底部的不整合面在地震上的反映较差，而后来裂谷期的强烈反映表明此阶段扩张和盆地演化的局部影响是很弱的。北巴拉望陆块仍为中国南方大陆边缘的一部分，且为一局部抬升的地区，其证据是：在很多情况下，西北巴拉望盆地的钻井在钻进前第三系之前未钻遇与此海底扩张作用有关的古新统至下始新统。

而在西北巴拉望盆地钻穿与古近纪初期裂陷作用有关的地层的井揭示，该地层为包括碳酸盐岩和砂岩的滨浅海沉积物；局部相组合表明为裂谷期沉积；而更广泛的资料显示该陆源碎屑物的物源区位于西北方。这可从北巴拉望和 Reed Bank 陆块晚始新世的岩相得到印证，沉积环境为从西北部的河流—三角洲、海陆交互/潮间带到东南部的海相碳酸盐岩陆棚。

4）**晚始新世至早渐新世裂谷期**（38.6—35.4 *Ma*）

晚始新世时开始了新一轮的南北向地壳扩张，从而导致北巴拉望陆块脱离中国南方大陆。南中国海的间歇性海底扩张在第二阶段达到顶峰，而始于中渐新世。与第一裂谷阶段相似，在该盆地中，此阶段地垒—地堑构造在地震上的反映被其上覆厚层 Nido 组的裂谷后期碳酸盐岩序列所掩盖。Nido 段表面的起伏表明裂谷地貌被剥蚀和地堑充填所减小。盆地中钻穿上始新统和下渐新统的井（大多钻于地垒上）大多钻遇“前 Nido”碳酸盐岩和陆源砂岩，尽管在地堑区裂谷期的陆源碎屑沉积物更厚，但是最北面的井还是钻遇了深海相的浊积岩。

在渐新统—中新统台地碳酸盐岩和生物礁建造下面构造能被辨认的地区，可以清楚地见到在第三纪中期裂谷地貌的地垒和断层下盘高点上的残留海底地貌上发育了浅海碳酸盐岩沉积。裂谷期沉积中心的总体形态表明北西—南东向转换带具有重要作用，主要位于盆地的 Linapacan—Octon—Galoc 地区。相关的转换/平移断层系统在南中国海海底扩张各阶段的早期均起着重要作用。

5）**早渐新世裂谷后期**（35.4—29.3 *Ma*）

标志着早渐新世南中国海从南北向地壳拉张向海底扩张转化的“破碎”不整合面，与分离北巴拉望陆块和中国大陆的洋壳上可识别的第一个磁异常（东西向）相对应。广义上讲，

它相当于发育于西北巴拉望盆地 Nido 组底部的不整合面，因而被看作为西北巴拉望盆地与海底扩张有关的、从活动裂谷向被动裂谷进行沉降转变的标志。

通过 10 号和 11 号磁异常识别出的最早海底扩张通常向西传播，使北巴拉望陆块及其东边相邻的陆块从中国大陆分离出去。活动洋脊及新的大陆边缘被北西—南东向的转换/平移断层分割成很多段。中渐新世时，Macclesfield 浅滩北面的洋脊消失，但是海底扩张在东面形成的新大洋盆地中继续进行；并且沿北西—南东向平移断层的右旋剪切使北巴拉望陆块继续向南移动。分离西南面扩张洋脊与西南面拉张陆壳的北西—南东向重要构造线确定了 Reed Bank 陆块东北面的大陆—海洋边界。

西北巴拉望盆地渐新世的裂谷后期沉积主要为 Nido 组的海相碳酸盐岩，从早期地堑区的远端深海石灰岩及碎屑流到局部夹生物礁的台地陆棚碳酸盐岩，占据了近岸地区和滨外地垒区。

6）晚渐新世至中中新世裂谷后期（29.3—16.3 *Ma*）

晚渐新世至早中新世时，大洋扩张向西南方向推进。随着北巴拉望陆块向南迁移，其被动沉降把浅海碳酸盐岩沉积限制在活动生物礁生长的地区，在与早期裂陷作用有关的地垒上尤其明显。裂谷区堆集了陆源及生物礁碎屑，且常以深海浊积岩和重力流沉积的形式出现。

Nido 组的顶部为一主要的地震层序界面，从而勾画出中第三纪裂谷后期结束时该盆地的轮廓，它揭示了下—中中新统 Pag—asa 组细粒进积海相碎屑沉积物向 Nido 组碳酸盐岩沉积地貌的上超、下超和掩埋（图 2—8—2）。与以前盆地发育形成鲜明对比的是这些沉积物的物源区位于东南方向，表明北巴拉望陆块主要边缘的隆起与碰撞相关。

7）中中新世至早上新世碰撞期（16.3—5.2 *Ma*）

使北巴拉望陆块处于现今位置的海底扩张，因该微型大陆及其相邻的 Reed Bank 和 Dangerous Ground 地块与从北面婆罗洲岛向东北方向延伸的俯冲带相碰撞而结束。北巴拉望陆块在中中新世至晚中新世时与南中国海水平错位，使其与从东南向中国大陆聚敛的菲律宾沟—弧系统相碰撞，其缝合带跨越了民都洛（Mindoro）岛和班乃（Panay）半岛的最西部，并把向东延伸的马尼拉海沟俯冲带与 Negros 海沟连接起来。这些连接与碰撞对西北巴拉望盆地的影响表现为：在类似的 Pag—asa 组上部发育向上变粗的碎屑流沉积，即 Batas 砾岩段，这种向西北方向推进的碎屑流沉积覆盖了残留的塔礁。

Galoc 地区古近系裂谷充填的轻微构造反转可能发生于中中新世不整合之前，并可能与北巴拉望陆块和导致原南中国海消亡的俯冲带的碰撞有关。盆地范围内的中中新世不整合面在地震剖面上只是一个相对较小的特征，尽管在这一层位缺失一或两个浮游有孔虫带，但海平面升降造成的可能性大于构造作用造成的可能性。盆地发育过程中碰撞的高峰期可追溯到晚中新世，在 Linapacan 油田的海上部分及盆地的东北面，中新统缺失更加明显；因此，在 Linapacan A—1 井和最北面的 Busuanga 1 井，上新统至更新统 Carcar 石灰岩直接覆盖在早中中新世或更早沉积的碎屑岩之上。地震剖面上显示出中中新统不整合面之上存在一大范围内的构造反转，西 Linapacan 构造和 Busuanga—Calauit 凸起的走向带为典型的例子。

8）早上新世至近代的碰撞后发育期（5.2—0 *Ma*）

相对稳定期的到来和西北巴拉望盆地的被动下沉是以上新统内部一盆地范围内的不整合面为标志，与菲律宾弧—沟体系相碰撞时在该盆地的东北地区出现了海侵，期间沉积了 Carcar 组的浅海相碳酸盐岩。该组的沉积相显示西北部变深，表明沿前北巴拉望陆块边缘继续被动下沉。

2. 地层

西北巴拉望盆地发育的地层主要为中生界侏罗系—白垩系、第三系和第四系（表2—8—1）。

（1）中生界：深海相石灰岩和海相碎屑岩夹火山碎屑岩；0～3000 m。

（2）古近系：盆地内发育不全，为一套海相和海陆交互相的碎屑岩、陆源碎屑岩和陆棚碳酸盐岩。

（3）前Nido组：陆棚至深海相砂岩、泥页岩夹石灰岩；0～200 m。

（4）Nido组：主要为台地和生物礁相的碳酸盐岩建造；在生物礁之间发育有深海相的浊积岩、碎屑流沉积；0～1300 m。

（5）Pag—asa组：浅海至深海相的碎屑岩；0～1500 m。

（6）Matinloc组：半深海、浅海、滨海相含砾砂岩、粉砂岩和粘土岩；0～1000 m。

（7）Carcar组：浅海相石灰岩；500～800 m。

二、大地热流

西北巴拉望盆地的地温梯度较低，Matinloc 1井的地温梯度为2.7 ℃/100m，Libro 1井为1.77 ℃/100m，Pandan 1井为3.14 ℃/100m，Pag—asa 1井为2.68 ℃/100m，Signal 1井为3.28 ℃/100m（金庆焕，1989）。

三、火山活动

西北巴拉望盆地火山活动在整个盆地发育过程中并不强烈，仅在前第三纪裂陷作用期间伴有火山活动，即在晚侏罗世到早白垩世时，西北巴拉望陆块为中国南方陆块的安第斯型边缘，在此期间向陆地方向有中、酸性的岩浆活动。白垩纪末期，由于南中国海地区板块运动的重新开始，伴随着安第斯型岩浆活动的结束。

四、含油气性

1. 烃源岩

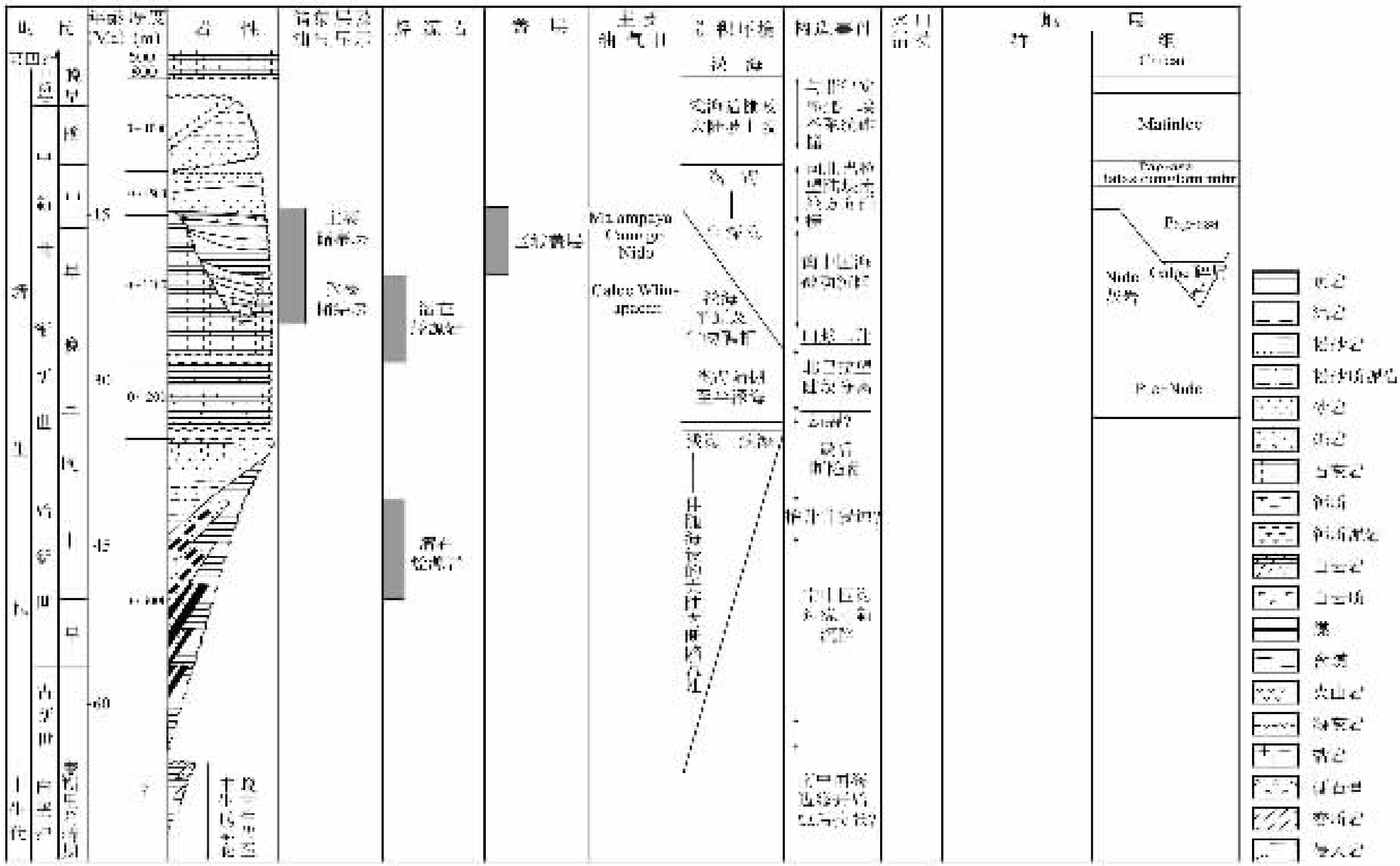
西北巴拉望盆地发现的油气成因尚不清楚，烃类主要储集于裂谷后期沉积的Nido组石灰岩中，而探井主要用于测试基底凸起之上的碳酸盐岩建造，因此很少钻遇可能的烃源岩。

有2套可能的烃源岩，一套为陆相裂谷序列，另一套为裂谷后期的深海沉积物；后者沿早期的地堑堆积，在盆地沉降的裂谷后期，这些地区不断变深，并在其周围的高部位伴随着Nido生物礁和台地碳酸盐岩的发育。

Cadlao 1井钻遇的古近纪裂谷期沉积的碳质页岩和煤层表明，北巴拉望陆块在前裂谷期与中国南部大陆并置，那么更靠西北的地堑可能发育有类似于珠江口盆地那样的裂谷期湖相烃源岩。尽管到目前为止很少钻遇这些烃源岩，但它们是在Camago—Malampaya生物礁外围探测到的大量天然气、凝析油和原油最可能的烃源岩。

有学者认为在碳酸盐岩建造之间的局限深水环境中，那些有利于生物礁和台地环境发育的条件也同样有利于富含有机质岩相的沉积；这些海洋条件是早中新世有利于海相有机质埋藏的特征。盆地南部和北部的原油在碳同位素比及化学性质上很相似，表明它们有共同的海相藻类来源、相同的热成熟史和足够的陆源有机质输入而产生蜡质，埃克森公司对Linapacan 1井原油的分析结果也表明其来源于高成熟的海相碳酸盐岩，Galoc地区的钻井可能钻遇了这一岩相，其岩性为深海相碳酸盐岩，时代为渐新世，总有机碳含量（*TOC*）为3%，推测在构造周围发育有厚层的该类沉积物；在Galoc地区的钻井周围，这些深海沉积物已经成熟。在Nido石灰岩顶面抬升更高地区的现有钻井存在明显的偏见，这意味着通过现有钻井

表 2－8－1　**西北巴拉望盆地综合地层表（引自** R. J. Bailey，Gary Dunning，1995）



所确定的镜质组反射率低估了构造外烃源岩的成熟度。埋藏史模拟表明，Nido 组对应层位或前 Nido 期深海碳酸盐岩油源岩的成熟需要与碰撞有关的中新世陆源碎屑的注入，其代表为 Pag—asa 组和 Matinloc 组；而裂谷期油源岩，即下第三系裂谷充填物中的某些沉积物可能成熟更早，埋藏最深的层位可能在地块解体之前进入生油窗或在其后的裂谷后期埋藏中进入生气窗，裂谷充填物的厚度和可能的范围也可能使多套烃源岩（包括腐殖型和生油型）相继成熟，并在新第三纪向 Nido 组储集层供油供气。

2. 储集层

西北巴拉望盆地的主要储集层为渐新统至中新统 Nido 组的碳酸盐岩，该组沉积于残留的老第三纪地垒—地堑地貌之上，并通过浅海生物礁和造台地生物的选择性集群而成，如在 Nido、Matinloc Cadlao 及 Camago—Malampaya 油气田发育了各式各样的块礁、线状边缘礁和塔礁等。在碳酸盐岩建造之间的白云岩化及裂缝型台地碳酸盐岩、深海浊流、颗粒流沉积是 Nido 组的次要储集层。

在盆地南部，Nido 组生物礁内部及外缘反映了这样的事实，造礁生物在与裂谷有关的倾斜断块顶部群居生长。在 Nido—Malintoc 组内部，早 Nido 期（晚渐新世至早中新世）的台地碳酸盐岩向上变为更局限的生物礁建造；这些储集层主要由藻或珊瑚骨架岩组成，并含大量的生物碎屑粒状灰岩、泥粒灰岩、粒状泥灰岩和泥岩。基质孔隙一般为晶间孔，但接受了早期次生淋滤的改造，形成溶洞，且后来又发生破裂，从而使孔隙度增大。这些原生和次生孔隙的综合确定了该储集层的特征，例如，在南 Nido 油田，Nido 生物礁储集层的孔隙度为 5%～25%，平均为 8%；在 Nido 西 1 井，测试时日产油量 7000 bbl/d，酸化后达 9800 bbl/d。

到目前为止，在西北巴拉望盆地发现的最大油气聚集区为早—中中新世 Nido 组生物礁外缘的 Camago—Malampaya 油气田，在 Camago 油气田的发现井，塔礁相的孔隙度为 7%～32%，裂缝和洞穴可能是造成钻遇该塔礁时钻井液大量漏失的主要原因。在西北巴拉望盆地晚渐新世后裂谷沉降阶段广泛发育了 Nido 台地碳酸盐岩；然而，到目前为止仅在 Nido 2X—1 井发现有效储集层，而在该井台地边缘的颗粒石灰岩和骨架岩的原生孔隙度达 25%。局部有效储集层为深海相沉积物，包括浊积岩、颗粒流和 Nido 台地及生物礁建造边缘的碎屑流沉积；在钻遇后者时，一般都给它们取一个非正式的名字，如 Galoc、Linapacan 和 Calauit 石灰岩。这些粗粒、深水碳酸盐岩的特征是由浅海石灰岩碎屑、介壳、浮游有孔虫和碳酸盐泥混合而成。

探测 Nido 碳酸盐岩建造的钻井钻遇了上超的陆源碎屑岩储集层，在盆地中央，它们是以非正式命名的晚渐新世至早中新世的 Galoc 碎屑岩单元开始。在 Galoc 油田，该单元为一凸起地貌，而地震剖面上最初还被误认为是碳酸盐岩建造。该储集层段总厚为 150～180 m，由 5 个向上变细的砂岩、粉砂岩和泥岩段组成，为海底扇和扇中水道沉积，单个砂层的厚度可达 37 m，Galoc 1 井钻遇了 91 m 纯砂岩储集层。

在 Galoc 油田其他井也钻遇类似的陆源砂岩，表明这些砂岩从南部的 Linapacan 延伸到北部的 Busuanga；然而只在 Galoc 地区，才含有数量可观的油气。从东南方进积的 Pas—asa 组碎屑岩覆盖了 Nido 地貌，在 Camago 1 井，一层 17 m 厚的含气砂岩直接覆盖在 Nido 石灰岩塔礁之上，由此表明该组为潜在的储集层。

3. 盖层

主要的区域性盖层为中新统 Pag—asa 组的陆源碎屑岩，它们向西北方向进积，跨越了

Nido 碳酸盐岩，远端泥岩上超、下超和覆盖于生物礁建造之上，因此对 Nido 碳酸盐岩在垂向和横向上都起到封闭作用。由于其主要为泥岩，远端 Pag－asa 组也为 Galoc 碎屑岩单元的深海扇砂岩提供区域性盖层。Malampaya 1 号气藏的气柱高度达 400 m，其下还有 106 m 高油柱，说明 Pag－asa 盖层的封闭性十分有效。沿 Nido—Matinloc 生物礁走向带的近端油气田，其油气柱高度要小些，这也许反映了海退的向上变粗旋回、浊积砂岩、含砾碎屑流沉积的封盖效果有所减弱。封盖条件变差也可从钻遇 Nido 油藏上面的地层时不时出现高的气测读数得到印证。

盆地东北部的构造圈闭也类似地依赖于深水沉积的 Pag－asa 组覆盖，在该组底部发育了大约 120 m 厚的泥岩。在该地区，此深水盖层与深海石灰岩储集层一起被褶皱。

4. 油气生成与运移

西北巴拉望盆地烃类的生成可能始于新第三纪“Galoc 碎屑岩”及其上覆的 Pag－asa 组和 Matinloc 组沉积之后，因为不太了解烃源岩的情况，所以很难确定生烃高峰期。如果烃源岩发育在古近系同生裂谷序列中，那么生油生气高峰可能在中新世或更早。如果烃源岩在早渐新世的后裂谷序列中，如 Nido 组底部碳酸盐岩所对应的深海沉积物中，那么油气的生成及运移可能迟至中中新世，此时烃源岩已埋深 2000～2300 m（假设当时的地温梯度比现在高）。我们所能确知的是晚中新世至早上新世盆地向陆方向的边缘发生与碰撞有关的反转和抬升时，可能全盆地已停止生烃。

在盆地南部，古近系箕状断陷的构造形态及在早渐新世裂谷后期发育于其上的沉积体系有利于烃类向前者的下盘——隆起区及西北和东南方运移，烃类到达垂向渗透率改善的地区后，继续向上运移直至遇到盆地范围的 Pag－asa 组盖层为止。石油倾向于沿生物礁走向带的内部进行聚集，而湿气倾向于在生物礁走向带外部的塔礁中聚集，其部分原因也可能是运移之故。假设烃类沿生物礁走向带（Camago—Malampaya）外部聚集成富气/凝析油的话，就足以推测烃类来自于分隔内外生物礁走向带的下第三系箕状断陷之中，于是，Malampaya—Nido 地区的所有烃类都可能来源于同一烃源岩。如果情况果真如此，那么油气类型上的差别可能首先反映了垂向运移过程中温/压环境的变化，其次是 Pag－asa 组盖层封盖的有效性。因此，沿生物礁走向带内部，在垂向运移过程中，烃类因温/压变化的分离可能还伴随有天然气的选择性逸失，这可能是由于 Pag－asa 组近端沉积物封盖性相对较差而引起。这种烃类从内生物礁圈闭中漏失的看法可从下面的事实中得到一些证实，Nido 油田浅部的塔礁中都未充满油，埋藏越浅充满度越低，这与天然气从最初为两相的圈闭中漏失是一致的。

在盆地北半部，圈闭的形态及深海 Nido 碳酸盐岩储集层中裂缝—孔隙的发育都认为是与碰撞有关的构造反转作用所造成的，因此，圈闭形成于总体抬升使生烃停止之时。据此可推出反转构造，如 Linapacan 及 Calauit—Busuanga 隆起，聚集了已在系统内部的油气，即为一个三次运移的过程。这种油气聚集来源于反转期之后埋藏生成的油气是不太可能的，例如，在 Linapacan 构造周围，构造反转对中新统造成的剥失超过 1000 m，这表明其附近任何生烃过程都会结束，而后来上新世至近代沉积的 700 m 厚灰岩不太可能导致重新生烃。

目前所取油样的比重在 20°～40°API 之间，Linapacan A－1A 井和 B－1 井 Nido 碳酸盐岩中原油的比重分别为 4°～9°API 和 13°～18°API，这些事实以及前者的酸度表明曾发生过生物降解和去沥青作用。这也可能反映了在这些构造圈闭中储集层埋藏相对较浅，以及距上

中新统—上新统底部的 Carcar 不整合面较近。在 Linapacan A—1A 井，石灰岩层离此面仅 33 m，而在 Linapacan B—1 井，储集层距此面 350 m，因而原油遭受生物降解较弱。

5. 含油气组合

1）含油气组合类型

（1）下中新统 Nido 组含油气组合。在 24 个油气田或发现中的 18 个见有该含油气组合，其控制的油气占西北巴拉望盆地已发现油气的 86.52%，其储集层为石灰岩/白垩层，为典型的深海沉积，其中还发育有较浅水的碳酸盐岩建造。圈闭类型包括构造型、地层型和构造—地层型圈闭，构造单元形成于晚中新世的反转期。

下中新统（Nido 组）构造油气藏出现于 4 个发现中，其油储量占该盆地的 3.68%，气储量占 1.11%。圈闭为典型的复合型断背斜，即在 Calauit 1—B、南 Calauit 1、Linapacan A—1A 及 Linapacan B—1 等 4 个发现中见有这类小油气藏。

下中新统（Nido 组）地层油气藏出现于 13 个油气田/发现中，其油储量占该盆地的 52.55%，凝析油占 91%，气占 78%。其储集层为典型的高凸起生物礁碳酸盐岩建造，并由 Pag—asa 组的泥质碎屑岩封闭而形成圈闭。这些发现包括 Camago 1、Malampaya 1 和 Mat-inloc。

下中新统（Nido 组）构造—地层油气藏仅见于 1 个发现中，其储量占该盆地的 13.93%。San Martin A—1X 发现中有 1 个大的浅埋构造高点，其内发育一碳酸盐岩建造。

（2）下中新统（Linapacan 组）含油气组合。仅在 1 个发现中见有该含油气组合，其控制的油气占西北巴拉望盆地已发现油气的 2.07%，其储集层为深水白垩层和浊积石灰岩。

下中新统（Linapacan 组）构造型油气藏的油储量占该盆的 8.75%，气占 0.93%。Linapacan 西 B—1X 油田的圈闭为一个与压扭性断层有关的背斜，其西南翼陡且受断层严重破坏，东北翼平缓。

（3）下—中中新统（Pag—asa 组）含油气组合。在 5 个发现中见有该含油气组合，其控制的油气占西北巴拉望盆地已发现油气的 11.42%，其储集层为浊积砂岩和粉砂岩。

下—中中新统（Pag—asa 组）构造型油气藏中的油储量占该盆地的 35.02%，凝析油占 9%，气占 6.03%。圈闭为一个与压扭性断层有关的背斜。

2）含油气组合的分布

西北巴拉望盆地中 Nido 组是分布最广的储集层，它包含有机碳酸盐岩建造，在古构造高点上最为发育。发育有 Nido 组地层型油气藏的油气田位于盆地南部，在储集层发育的裂谷后期造礁生物群居于该地区倾斜断块上。构造型和构造—地层型油气藏分布于盆地中部和北部，即受后来盆地反转影响的地区，这一反转导致了 Nido 储集层的褶皱和断裂。

Linapacan 组碳酸盐岩构造型和 Pag—asa 组构造型油气藏分布于盆地的中部，其代表性构造为背斜和逆断层，它们都形成于后来的盆地反转期。

6. 含油气系统

就目前所了解的情况而言，西北巴拉望盆地有 2 种类型的含油气系统：依赖于裂谷期非海相烃源岩的含油气系统、裂谷后期深水海相烃源岩的含油气系统。目前的平衡状态表明裂谷期烃源岩对该盆地储量的贡献更大。

1）古近系—新近系（*Nido*）含油气系统

该含油气系统的烃源岩尚未识别出来，但其存在于西北巴拉望陆棚下面下第三系箕状断陷充填沉积物中，储集层为上覆 Nido 组浅海相碳酸盐岩建造和相关的深海相沉积，盖层为

Pag—asa 组的进积陆源碎屑岩。该系统可能因埋藏于中新统进积性碎屑岩楔状体下面而成熟，而又因晚中新世至早上新世的抬升而结束生烃，表明最大的有效期为 60 Ma。

(1) 油气生成：生物礁相地层圈闭的封闭时间表明生烃和运移发生在中中新世之间或之后，而在晚中新世至早上新世因碰撞引起被巴拉望抬升、下第三系箕状断陷的构造反转和抬升以及中新统碎屑岩楔状体的剥蚀而结束。

(2) 圈闭形成：该盆地最重要的圈闭是生长于晚渐新世至中中新世裂谷后期被动沉降时的生物礁建造；少见而次要的地层型圈闭为 Galoc 油田下中新统的丘状海底扇砂岩；与此含油气系统有关的另一种构造圈闭形成于晚中新世至早上新世盆地及其伴生的走滑断裂的反转期。这些构造圈闭主要见于与碳酸盐岩同时期形成的深海沉积物中。

(3) 最早封闭：早—中中新世生物礁相地层圈闭只有在它被 Pag—asa 组的上超和下超陆源碎屑岩埋藏后方能保存油气；生长期最长的塔礁直到中中新世早期才被封闭。

(4) 油气保存：主要的生物礁油气藏能保存烃类的时间为早—中中新世。

2) 上第三系含油气系统

该含油气系统的关键要素为下中新统的深海相烃源岩（直接证据较少）、下—中中新统碳酸盐岩建造圈闭和 Pag—asa 组的区域性盖层。烃类生成可能因晚中新世的抬升而结束，因此，该系统的有效期可能少于 25 Ma。人们怀疑所见到的烃源岩能否生成大量的具有 Malampaya 油田特征的凝析气；不过，该含油气系统可能会向生物礁走向带内部的地层型油气藏和晚中新世的构造型油气藏提供液态烃。

3) 影响油气有效圈闭的因素

(1) 油气生成：该烃源岩需要早—中中新世 Pag—asa 组的碎屑岩沉积后才能成熟，与前一个含油气系统相似，该含油气系统的生烃可能因晚中新世—早上新世的抬升和剥蚀而结束。

(2) 圈闭形成：该含油气系统圈闭的形成与古近系—新近系含油气系统相似。

(3) 最早封闭：该含油气系统的封闭时间与古近系—新近系含油气系统相似。

(4) 油气保存：该含油气系统的保存方式与古近系—新近系含油气系统相似。

7. 油气储量及丰度

根据 1994 年底对西北巴拉望盆地所有油气田和发现的统计，其最终油气储量为油 228.46×10^6 bbl，凝析油 239.5×10^6 bbl，气 $53\ 854\times10^8$ ft^3。其含油气丰度见表 2—8—2。

表 2—8—2 西北巴拉望盆地油气丰度（1994）

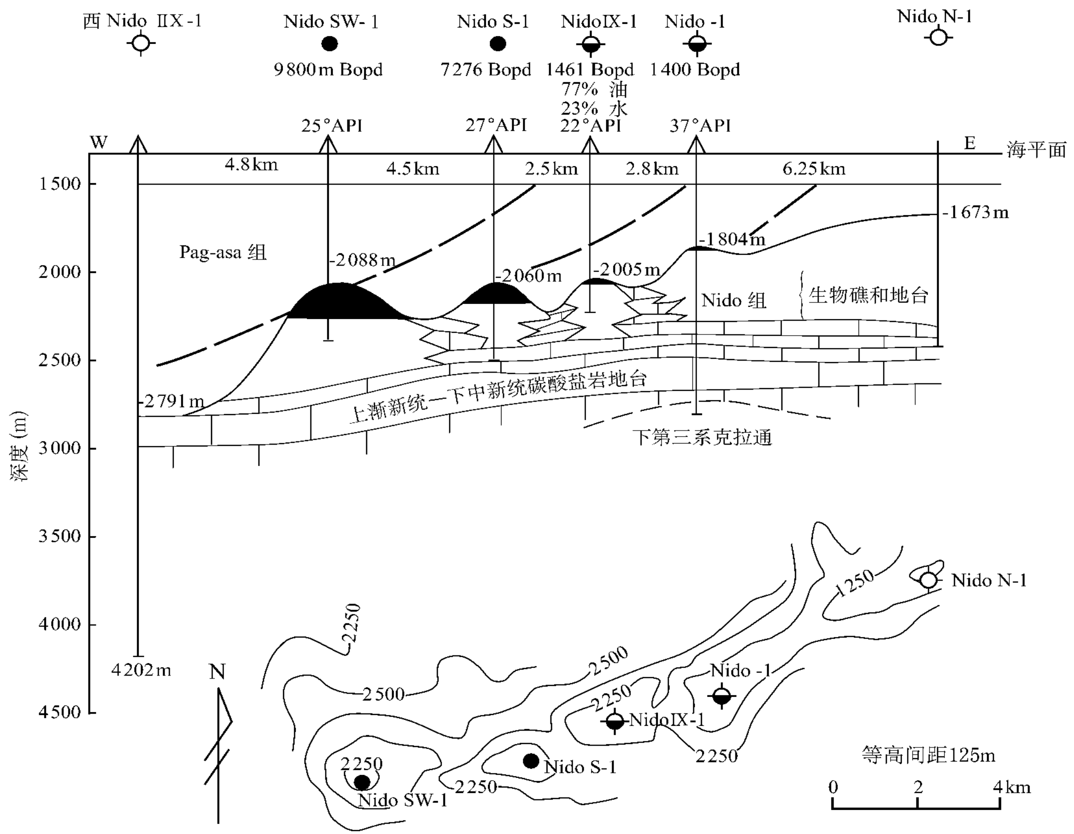
类型	油	凝析油	气	总量
油气丰度	16 319 bbl/km^2	17[illegible]107 bbl/km^2	385×10^6 ft^3/km^2	97 538 bbl（油当量）/km^2

8. 主要圈闭类型

西北巴拉望盆地除少量背斜构造圈闭外，大多数为生物礁地层圈闭（图 2—8—3、图 2—8—4），所有已发现的具有工业价值的油气藏均位于距西北巴拉望海岸约 40 km、延伸达 200 km 的南北向含油气聚集带上，其附近尚有许多有远景的圈闭。

9. 大油气田及典型油气田（藏）——以 Nido 油田为例

西北巴拉望盆地中的油气田一般都不大，表 2—8—3 中所列油气田为其中稍大的油气田。



井 号	闭合高度 (m)	油柱高度 (m)
Nido SW-1	210	188
Nido S-1	180	87
NidoⅨ-1	150	15
Nido -1	90	16
Nido N-1	60	*

* 6m 油斑

图 2—8—3 Camago—Malampaya **油田石灰岩顶面构造图及** Camago **气田横剖面图**（**据** Beddoes，1980）

表 2—8—3　西北巴拉望盆地较大的油气田

油 气 田	油储量（10^6 bbl）	凝析油储量（10^6 bbl）	气储量（10^8 ft^3）
Cadlao	11.5		
Camago 1	0	23	7000
Atinlocp	11.52		
Malampaya 1	75	195	35000
San Martin 1A—1X	0	0	7500
Galoc 1	35	0	150
Linapacan West A	25		
Octon 1	20	20	230

Nido 油田位于巴拉望西北海上 27mile 处，发现于 1976 年。该油田属小型油田，但其意义重大，它的发现标志着一个新油区的发现。

油田的发现井为 Nido 1 号井，井位在北纬 11°03′19″和东经 118°52′38″。该井打在 OP—37X 测线上（图 2—8—5），完井井深 5960.6 m。

10. 勘探开发历程及现状

1）勘探历程

西北巴拉望盆地自 20 世纪 70 年代开始勘探以来，已在 73 口勘探井中发现了 3130×10^4 t 原油、3281×10^4 t 凝析油和 1524×10^8 m^3 天然气。壳牌公司在 Malampaya 1 获得了西北巴拉望盆地最大的发现，含有 11 685×10^4 t 油当量的油气。Malam—Paya 含有 990.5×10^8 m^3 天然气，预计这一发现会开辟这一盆地天然气勘探的前景。以前认为在这一盆地无商业价值的天然气资源。

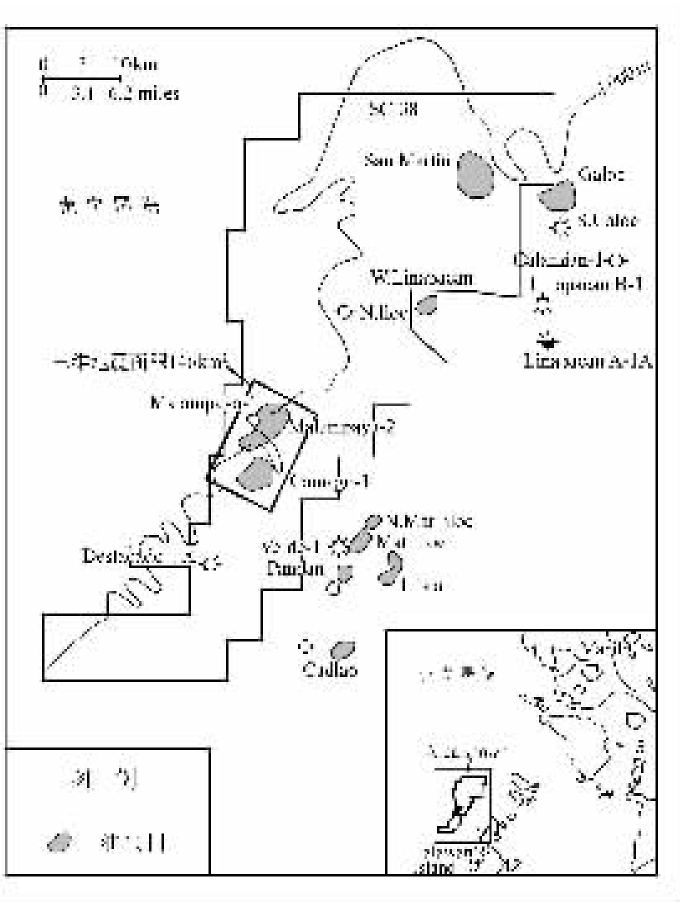


图 2—8—4　西北巴拉望盆地油气田分布图
（引自饶春涛、黄仙英，1994）

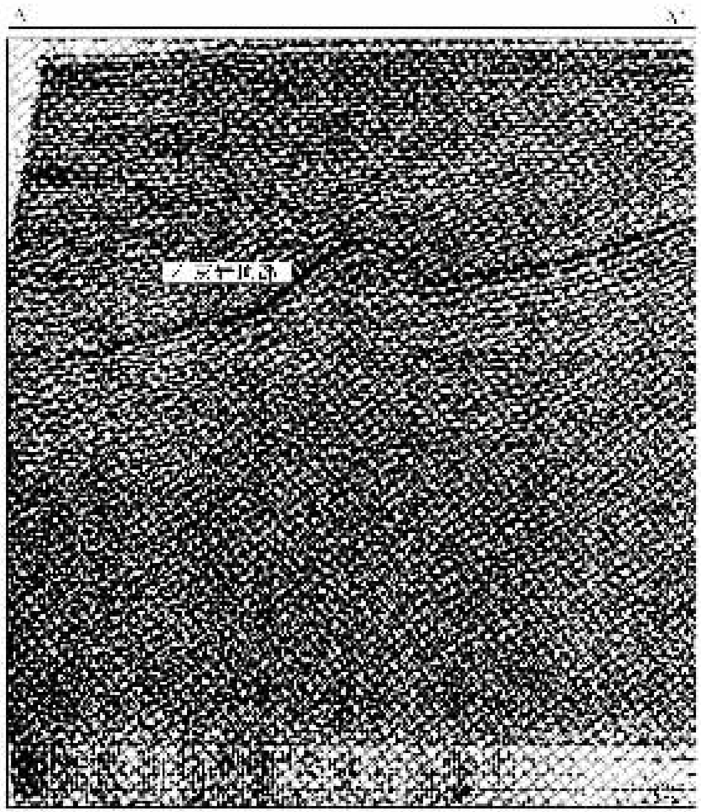


图 2—8—5　横跨 Nido 礁块远景区的地震 OP—37X 测线

西北巴拉望盆地于 20 世纪 70 年代开始了地震采集工作，当时 Cities 服务公司做了 1 395 km 的地震测量。1978 年，该公司继续地震勘探，做了 2 714 km 的三维地震测量。在圈定的构造上经钻井后发现了 Nido B 油田，其估计储量为 96×10^4 t。1976—1980 年间，年地震工作量有所减少，23 口新探井的成功率为 34.8%，新增储量为 559×10^4 t 原油。

在 1981—1982 年，Cities 服务公司共做了 8 731 km 地震测量，钻了 14 口新探井，发现了 6 个油气田，其中含油 551×10^4 t、凝析油 20.5×10^4 t、天然气 250×10^8 m^3。

在 1982—1987 年，地球物理勘探减少，未增加新的油气储量。

1988 年在该盆地又恢复了地震与钻井活动，共采集了 3 865 km 的地震资料，钻了 7 口新探井（1988—1990），新增 397×10^4 t 原油、315×10^4 t 凝析油、212×10^8 m^3 天然气储量。

1991—1992 年，壳牌公司做了 6 000 km 三维地震，发现了 Malampaya 油田。在此期间，其他公司也获得了一些油气发现，但规模均较小。1993 年共采集了 6 113 km 地震资料，钻 3 口井，找到 274×10^4 t 原油、14×10^8 m^3 天然气储量。

2）开发历程

自 1978 年发放第一个开发许可证以来，已有 9 个油气田投入开发，开采始于 1979 年，到 1993 年底累积采油量 712×10^4 t，1979 年开采高峰期日产量 3 288 t。

第一批开发井是 Cities 服务公司于 1979—1983 年在 Nido A、Nido B 和 Matrinl C 油田

打的。到目前为止，共钻了13口开发井，并有许多探井计划用于开发。

五、小　结

（1）西北巴拉望盆地首先经历了晚侏罗世—早白垩世的裂谷发育阶段，沉积了一套深海相的石灰岩、页岩夹火山碎屑岩，白垩纪末裂谷活动趋于平静。老第三纪开始，南中国海地区又开始了新一轮裂谷发育期，沉积了一套河流—三角洲到滨浅海的沉积物，包括碳酸盐岩和碎屑岩，其后裂谷活动又趋平静。晚始新世至早渐新世裂谷进一步发育，早渐新世后，盆地进入裂谷后期发育阶段。中中新世时因北巴拉望陆块与相邻的Reed Bank和Dangerous Ground陆块的碰撞而结束了该区的海底扩张，从而进入碰撞发育阶段；早上新世结束了碰撞期并进入碰撞后期发育阶段。

（2）经过盆地的上述发育阶段沉积了巨厚的海相、碳酸盐岩和陆相碎屑岩，其生、储、盖层见表2—8—4。

表2—8—4　西北巴拉望盆地生、储、盖层特征

地层性质	层位或发育时期	岩　性	时　代
储集层	Nido组	石灰岩	早中新世
	Linapacan组	石灰岩	早中新世
	Pag—asa组	石灰岩	早—中中新世
烃源岩	裂谷期（主要）	页岩	古近纪
	后裂谷期（次要）	石灰岩	晚渐新—早中新世
盖　层	Pag—asa组	粘土和泥质岩	早—中中新世

（3）到目前为止所发现的油气几乎90%储集于Nido组的生物礁中，盖层为Pag—asa组；其余储集于深海礁间沉积物中，主要储集于与碰撞有关的构造圈闭中（表2—8—4）。

（4）该盆地中可能发育2个含油气系统，一个是以古近纪裂谷期泥页岩为烃源岩，另一个是以裂谷后期深海沉积物为烃源岩。

（5）目前只对大约15个Nido构造中的6个进行了钻探，余下的位于深水区。

（6）该盆地圈闭类型主要为礁岩凸起。该盆地最终可采油储量为468×10^6 bbl，天然气$53\ 850\times10^8$ ft^3。

参考文献

中国海洋石油总公司海洋石油勘探开发研究中心．1997．海上油气田勘探开发典型实例选编之二——东南亚及其他地区．北京：石油工业出版社

金庆焕主编．1989．南海地质与油气资源．北京：地质出版社

Anonymous．1980．The Nido reef complex oil field，Northwest Palawan，Philippines．Petroleum Geology of Taiwan，17，133—139

Anonymous．1980．Hydrocarbon plays in Tertiary，S．E．Asia basins．Oil and Gas Journal，78（29），90—96

Anonymous．1991．Another Northwest Palawan find boosts exploration off Philippines．

Oil and Gas Journal，89（12），60

Briais A，Patriat P，Tapponier R. 1993. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor－spreading in the South China Sea：implications for the Tertiary Tectonics of SE Asia. Journal of Geophysical Research 98，6299－6328

Bird P R，Quinton N A，Beeson M N，*et al*. 1993. Mindoro：a rifted microcontinent in collision with the Philippine volcanic arc；basin evolution and hydrocarbon potential. Journal South East Asian Earth Science，8，449－468

Durkee E F. 1992. Oil，geology，and changing concepts in the Southwest Philippines (Palawan and the Sulu Sea). Preprints of the 9th American Association of Petroleum Geologists Offshore South East Asia Conference，Singapore，OSEA－92217，469－490

Lee T－Y，Lawver L A. 1994. Cenozoic plate reconstruction of the South China Sea region. Tectonphysics，235，149－180

Saldivar－Sali A，Oesterle H G，Brownlee D N. 1981. Geology of offshore Northwest Palawan，Philippines. Oil and Gas Journal. 79（49），234－242

Saldivar－Sali A，Oesterle H G，Brownlee D N. 1982. Geology and production history of offshore Northwest Palawan，Philippines. In：Wilson，S. T.，Transactions of the Third Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conference，255－256

Withjack E M. 1986. Analysis of naturally fractured reservoirs with bottomwater drive；Nido A and B fields，offshore Northwest Palawan，Philippines. Journal of Petroleum Technology，37（9），1481－1490

第九节　西爪哇盆地

西爪哇（West Jawa）盆地大约76%的面积位于爪哇岛与婆罗洲岛（Borneo）之间的西爪哇海域，盆地南部位于爪哇岛上。盆地总面积144 515 km^2；其中海上120 185 km^2，陆上24 230 km^2，已提供勘探区块的面积113 295 km^2。就其盆地的边界而言，其西面楠榜（Lampung）凸起将其与南苏门答腊分开；东面，卡里摩爪哇（Karimunjawa）群岛把它与东爪哇盆地分开；盆地南邻南爪哇山火山弧，北达巽他（Sunda）陆架（图2－9－1）。西爪哇盆地向东向延伸，并被一系列向北延伸的箕状断陷和断陷所横切，这些箕状断陷和断陷包括：阿朱纳（Arjuna）、Asri、巴里通（Biliton）、贾蒂巴朗（Jatibarang）及巽他坳陷。而这些坳陷又被分为小的地垒和地堑，一阶梯状断裂的基底凸起构成了塞里布（Seribu）地台。该盆地内发育了3000多米厚的第三系，这些地层局部上超于前第三系基底之上，前第三系的表面为一区域性不整合面，盆地最大的发育阶段发生于陆上的贾蒂巴朗和阿朱纳坳陷及海上的巽他坳陷（常被看成为一个独立的盆地）。

一、区域地质

1. 盆地演化

1）前第三系基底

白垩纪期间，澳大利亚—印度板块和太平洋板块分别向北和向西移动，且都向东南亚洲板块之下俯冲。西爪哇盆地的基底为巽他克拉通地块，由上古生界至上白垩统的变质岩、火山岩、岩浆岩和沉积岩组成。

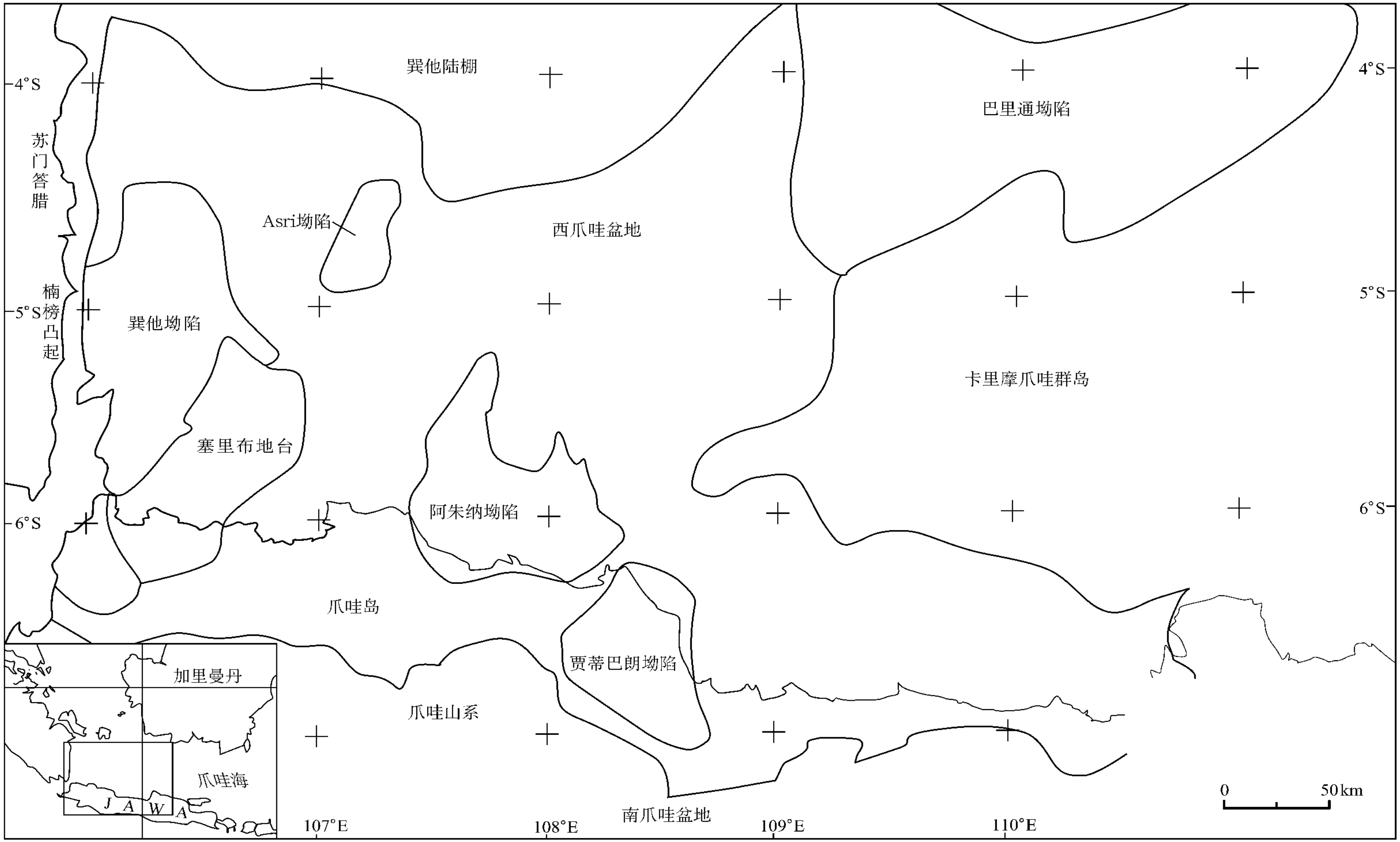


图 2—9—1　**西爪哇盆地位置图**（**引自** Petroconsultants，1993）

2）早裂陷期：始新世（？）至早渐新世扩张期（？56.5—29.3 *Ma*）

中始新世时，澳大利亚—印度板块的运动方向与边缘呈高角度斜交，该板块的俯冲引起了弧后扩张，西爪哇盆地的左行剪切形成了北东—南西向延伸的地垒和地堑。前第三系的构造格局为南北向或北东—南西向延伸，地壳变薄及裂陷作用导致前第三系构造选择性复活及下翘。巽他克拉通的剥蚀提供了大量的砾石和粗碎屑物质，这些物质随后沉积于此时形成的低洼地区。

从始新世到早渐新世，玄武岩、安山岩、凝灰岩及红色粘土岩开始充填于向下断裂形成的基底坳陷中。这些初期充填物以沉积于阿朱纳和贾蒂巴朗坳陷的贾蒂巴朗组为代表，在巽他坳陷和基底较浅的地区没有沉积该组地层，该组地层的沉积与沿巽他克拉通边缘聚敛后的岛弧火山活动有关。

3）裂陷晚期及坳陷发育期：晚渐新世至中中新世（29.3—10.4 *Ma*）

晚渐新世至早中新世，在断陷内及低洼地区沉积了 Talang Akar 组的湖相及三角洲相，碎屑物质的注入来自于盆地北部出露的巽他克拉通。早中新世时随着盆地的继续沉降，陆块不断缩小，从而导致陆源碎屑供给量的减少，海相碳酸盐岩则逐渐发育。沉积环境为陆相，部分为湖相，并向边缘海、滨岸平原及近海向滨浅海相过渡。在 Asri 及巽他坳陷沉积了湖相扇三角洲、三角洲（底砾岩）、湖相页岩（Banuwati 段）、河流、泛滥平原及滨岸三角洲平原相（Grit 段及 Transition 段）。

早至中中新世，碳酸盐岩台地超覆至缓慢形成的盆地层序之上。Batu Raja 组沉积于浅水沙滩，岸礁发育在盆地边缘或沿出露水面的岛屿周围。Batu Raja 台地覆盖了巽他坳陷的大部分地区、阿朱纳坳陷及除卡里摩爪哇群岛以外的 Bogor 海沟。碳酸盐岩建造则发育于海底地貌凸起之上。Talang Akar 组和 Batu Raja 组构成了下 Cibulakan 群。早中新世末期，在巽他坳陷沉积了 Gumai 组海相页岩。

中中新世期间，上 Cibulakan 群的海退碎屑岩沉积序列标志着陆棚及盆地区碳酸盐岩沉积的结束。在阿朱纳坳陷，于浅海环境沉积了 2 个主要的砂岩段（“Massive”和“Main”组），这 2 个砂岩段向卡里摩爪哇群岛尖灭。“Main 砂岩”可能来自卡里摩爪哇群岛；而“Massive 砂岩”的物源区位于巽他克拉通的北面。在巽他和 Asri 坳陷，于浅海环境沉积了 Air Benakat 组的海相页岩，而更局限的前 Parigi 组生物礁则形成于以碎屑岩沉积为主的时期。

中中新世末，Parigi 石灰岩沉积于构造稳定期，这类似于前 Parigi 期。这些生物礁的发育反映了古凸起的分布。Parigi 生物礁呈南北走向且沿陆架边缘的东西走向带发育很好，左旋剪切的再调整可能发生于 10～15 Ma 之间，紧随 Burma 板块开始发育之后。

4）挤压期：晚中新世至近代（10.4—0 *Ma*）

晚上新世至更新世，爪哇岛上因隆起和褶皱而沉积了海退序列，这一变形可能与弧前增生楔发育引起的沿聚敛边缘进一步结合有关或反映了在 Banda 岛弧区澳大利亚克拉通的继续碰撞。这一应力导致了东西走向的褶皱并引发了侵入性火山活动。这些现象局限于西爪哇盆地的陆上部分，而对滨岸和海上地区没有多大影响。

在巽他、Asri 和阿朱纳坳陷，Cisubuh 组代表了该盆地最后一次碎屑岩海退。盆地中的海相区沉积环境向上变为近海，巽他和 Asri 坳陷从阿朱纳坳陷分离，并且含煤和碳质粘土岩。自此时起，岛弧复合体不断生长，并伴有隆起和断层的下落。

2. 地层简介

该盆地发育的地层主要为第三系（表2—9—1）。

1）下渐新统贾蒂巴朗组

主要由玄武岩、安山岩、凝灰岩及红色粘土岩组成，最大厚度达1 300 m，分布于阿朱纳和贾蒂巴朗坳陷；在巽他坳陷和基底较浅地区无该组地层。

2）上渐新统至下中新统的下*Cibulakan*群

自下向上分为3个组：

（1）上渐新统至下中新统Talang Akar组，以湖相和三角洲沉积为主，局部有海相沉积。该组可进一步划分为3个段：由下向上分别为Grits、过渡段（Transition）及海相段（Marine），其沉积特征从陆向海过渡，该组最大厚度可达1 130 m。

（2）下中新统Batu Raja组为浅海碳酸盐岩陆棚沉积的产物，最大厚度600 m。

（3）下中新统Gumai组，由海相页岩组成，厚150 m，仅发育巽他坳陷。

3）中中新统的上*Cibulakan*群

为海退的碎屑岩沉积序列，由下向上分为Air Benakat组和前Parigi组。前者为浅海相页岩沉积，分布于巽他和Asri坳陷，而在阿朱纳坳陷则为“Massive”和“Main”组，主要由浅海相砂岩组成，最大厚度700 m；而后者前Parigi组则为生物礁沉积，最大厚度210 m。

4）中中新统*Parigi*组

由浅海石灰岩及生物礁组成，最大厚度达600 m。

5）上中新统至上新统*Cisubuh*组

为该盆地最后一次碎屑岩海退沉积序列，含煤及碳质粘土岩，上部夹有酸性火山岩，最大厚度可达1000 m。

二、大地热流

该区区域热流值较高，地温梯度为2.77～3.69 ℃/100m，表明烃源岩成熟开始的深度较浅，西爪哇盆地高热流值反映了其位于板块活动边缘的位置。

三、火山活动

该盆地有2次火山活动，早裂陷期由于巽他克拉通边缘聚敛后的岛弧火山活动，使该盆地充填了贾蒂巴朗组的玄武岩、安山岩、凝灰岩及红色粘土岩。在盆地的挤压末期，由澳大利亚克拉通在Banda岛的继续碰撞引发了碱性火山活动，这一火山活动局限于西爪哇盆地的陆上部分，而对滨岸及海上地区没有产生多大影响。

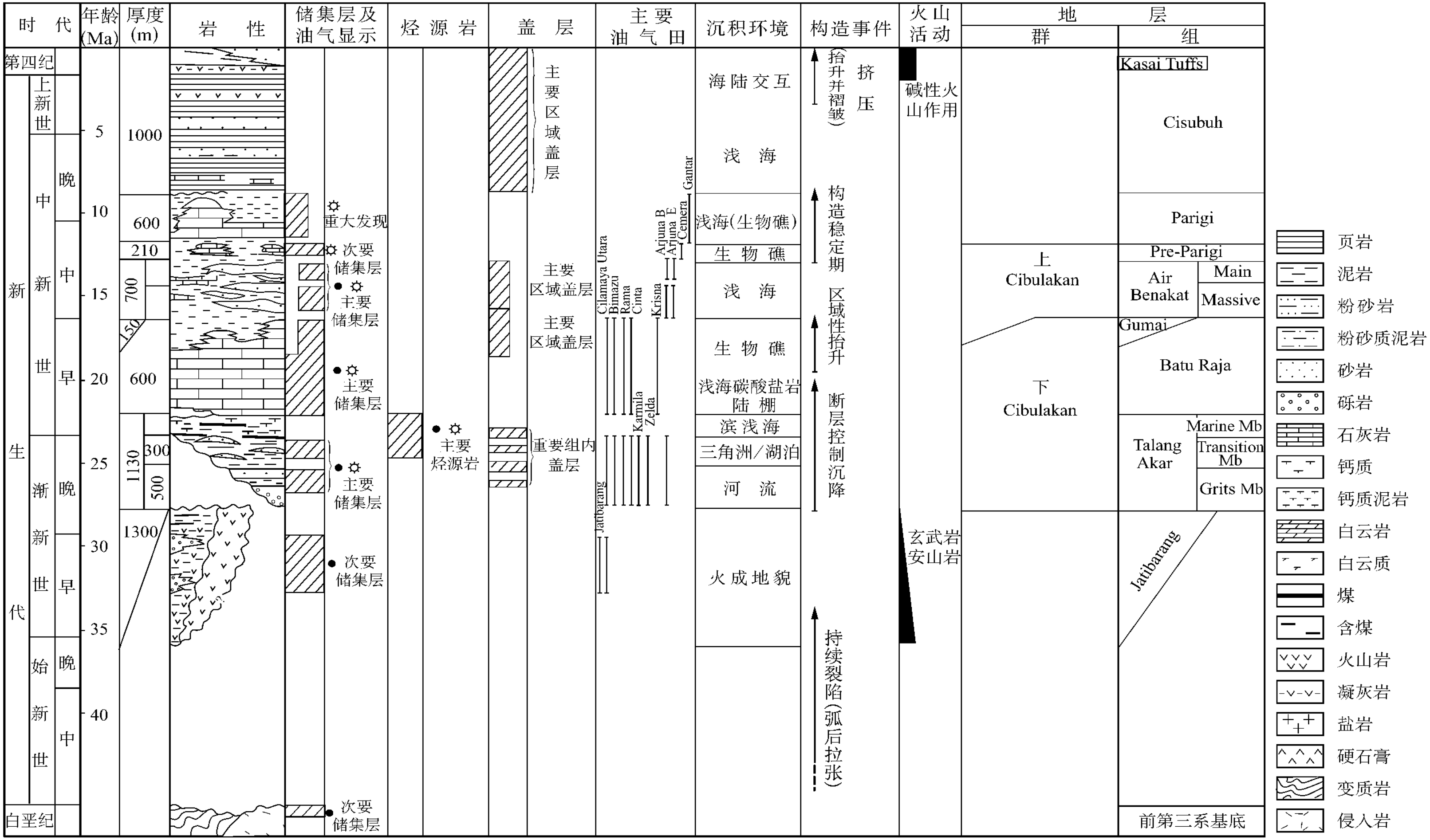
四、含油气性

1. 烃源岩

上渐新统至下中新统Talang Akar组的煤及碳质页岩为巽他、Asri和阿朱纳坳陷证实的烃源岩，其总有机碳含量为0.5%～20%，阿朱纳和塞里布地区Talang Akar组河流—三角洲相的煤层中含镜质组，其中有大量的孢子体、角质体和树质体。开始生油对应的镜质组反射率R_o为0.6%左右。

西爪哇盆地的油来自于湖相和（或）三角洲相地层，其密度中等，含硫量低（小于0.4%），含蜡量高（10%～20%），具高凝固点。阿朱纳坳陷的油来源于河流—三角洲相，含较高的植物生物标志化合物。巽他坳陷的油为菌藻类来源，仅含微量高等植物标志物，可能为湖相来源。塞里布地台的油含所有这些生物标志化合物，可能为边缘湖相所生成，并受陆源有机质注入的影响。

表 2—9—1　西爪哇盆地综合地层表（引自 Petroconsultants，1993）



Parigi 含气组合中的气为干气，甲烷含量超过 98%，仅含少量的乙烷、氮气和二氧化碳。该气体可能来自于生油窗顶部附近，为成熟早期的产物，镜质组反射率 R_o 为 0.5%～0.7%，其烃源岩可能为 Talang Akar 组的陆源沉积物，稠油的分离可能发生于运移过程中。Kingston（1988）认为，上部的气可能是生物成因气。

在阿朱纳坳陷，有机质成熟的深度估计在 1 200～1 800 m 之间，对应的温度为 99℃，首次生烃大约在 1 500 m。据 Noble 和 Wu（1990）的研究，Talang Akar 组煤层生油的温度为 126～130℃，对应的深度为 2 130～2 440 m。

成熟度的研究表明，Talang Akar 组在中中新世晚期进入生油窗，在陆上，Talang Akar 组于晚中新世首次进入生油窗。上 Cibulakan 群以下的烃源岩段已成熟并生油，贾蒂巴朗组目前位于生油窗或生气窗内。

2. 储集层

对基底的油气远景进行了有限的勘探，Bima 地区的变质石英岩基底具有产油能力。渐新统贾蒂巴朗组中的储集层为火山碎屑岩沉积和下第三系（?）凝灰岩，其孔隙度估计为 8%～22%，渗透率受裂缝控制，且其实测值一般较高（30～4 000）$\times10^{-3}$ μm^2。

下 Cibulakan 群的储集层主要由 Batu Raja 组的浅海生物礁石灰岩和 Talang Akar 组的海陆交互相至三角洲砂岩组成，三角洲复合体中发育了厚层砂岩储集层，在海岸及陆棚体系中发育有潮汐沙脊、障壁沙坝、陆棚沙脊储集层。上 Cibulakan 群的储集层由“Main”和“Massive”组的浅海陆棚及三角洲砂岩组成，其孔隙度为 20%～36%，渗透率为（100～1 700）$\times10^{-3}$ μm^2。

前 Parigi 及 Parigi 组储集层为生物礁和碳酸盐岩建造，前 Parigi 组储集层侧向连续性差，且与基底凸起区或 Batu Raja 建造一致；Parigi 生物礁反映了台地边缘的地貌，储集物性很好，孔隙度高，平均为 30%，渗透率高达 2 000$\times10^{-3}$ μm^2。裂缝不发育，孔隙度主要由铸模孔、洞穴和粒间孔组成。铸模孔和洞穴形成于暴露期，并由大气水冲洗而形成。各时代油气储量见表 2－9－2。

表 2－9－2　各时代油气储量

时　　代	含油量（10^6 bbl）	含气量（10^9 ft^3）
始新世—早渐新世（贾蒂巴朗组）	169	242
晚渐新世—中中新世（Cibulakan 群）	577	5740
中中新世（Parigi 组）	16	1225

3. 盖层

西爪哇盆地的盖层如下：

（1）上渐新统（Talang Akar 组）：页岩夹层，Talang Akar 储集层的局部盖层。

（2）下中新统至中中新统（Gumai 组及下 Air Benakat 段）：页岩，Batu Raja 储集层的区域盖层。

（3）中中新统（上 Cibulakan 群）：页岩和粘土夹层，“Massive”、“Main”及前 Parigi 储集层的准区域性组内盖层。

（4）上上新统—更新统（Cisubuh 组）：粘土岩，Parigi 组储集层的区域性盖层。

4. 构造特征

西爪哇盆地主要经历了2次大的构造运动，形成了2种不同的构造样式，一次是晚白垩世到早渐新世的裂谷变形阶段，表现为左行剪切和扩张，在该区形成了一系列北西—南东向的断陷，基底断层下落引起前第三系构造复活，形成的主要构造为正断层，断距达2000 m，走向为南北向及北东—南西向（图2—9—2、图2—9—3）。另一次大的构造变形为晚上新世至更新世的挤压所引起，挤压应力来自于南北向，使裂谷期形成的张性断裂再次活动并反向移动和形成东西走向的褶皱。形成的主要构造有单斜褶皱、滚动背斜和逆断层等（图2—9—2、图2—9—3）。

5. 油气生成与运移

巽他、阿朱纳及Asri坳陷中自生油区的运移主要发生在细粒烃源岩之中、之上和之下的多孔输导层中，垂向运移是沿前第三系与第三系之间的不整合面和渗透性断层面进行的。与中苏门达腊盆地相似，烃类运移可能限制在生油区附近10 km的范围之内，而巽他、Asri、阿朱纳坳陷的产油区似乎限制在Talang Akar的深盆区及边缘地区。产自Parigi储集层的天然气主要含甲烷，这一干气特征反映了重烃组分在运移过程中分离出去的事实。

6. 主要含油气组合

1）含油气组合类型

西爪哇盆地发育了4个主要含油气组合。

（1）贾蒂巴朗含油气组合。在6个油田和发现中见有Jatibarang含油气组合，它们主要分布于贾蒂巴朗坳陷，其可采油气储量占该盆地到目前为止发现的可采储量的5%。圈闭主要为构造型，但也存在地层圈闭。贾蒂巴朗构造油气藏在4个油田中发现，估计含该盆地6%的油和3%的气，圈闭由两类背斜组成：简单背斜和受正断层限制的宽缓椭圆形背斜（图2—9—4）。在2个油田中发现贾蒂巴朗构造—地层油气藏，为受构造位置控制的砾岩尖灭体。

（2）下Cibulakan含油气组合。下Cibulakan含油气组合是西爪哇盆地中最重要的含油气组合，在80多个油田及发现中见有这种含油气组合，其油气储量占该盆地油气储量的47%。下Cibulakan构造油气藏见于29个油田或发现中，储集了该盆地10%的油、不到5%的凝析油和15%的气，圈闭为简单背斜和断背斜。下Cibulakan地层油气藏见于7个油田和发现中，其油气储量不到该盆地的1%，圈闭由碳酸盐岩建造组成，如塔礁。49个油田和发现中存在着Cibulakan构造—地层油气藏，储集了该盆地38%的油、86%的凝析油和24%的气，圈闭类型有：①背斜—具生物礁建造或向基底凸起尖灭的地层；②滚动背斜与相变构成；③基底凸起周围受断层控制的岸礁；④断块及相变（砂岩透镜体）或向基底凸起尖灭的地层构成（图2—9—5）。

（3）上Cibulakan含油气组合。在70个油田和发现中见有上Cibulalakan含油气组合，含该盆地41%的油气，常见多层独立储集层。上Cibulakan构造油气藏见于34个油田或发现中，储集了该盆地12%以上的油、6%的凝析油和16%的气。圈闭有：①背斜；②断背斜；③基底凸起上的背斜；④受断层限制的倾斜背斜断块地垒（图2—9—6），常交汇于火山颈；⑤滚动背斜。

上Cibulakan地层油气藏分布在11个油田和发现中，含该盆地1.4%的油和1.5%的气。为纯地层圈闭，由以下几种形成机制：①透镜状砂体尖灭和渗透性隔挡；②有机生物礁。上Cibulakan构造—地层油气藏见于25个油田和发现中，储集了该盆地30%的可采油、

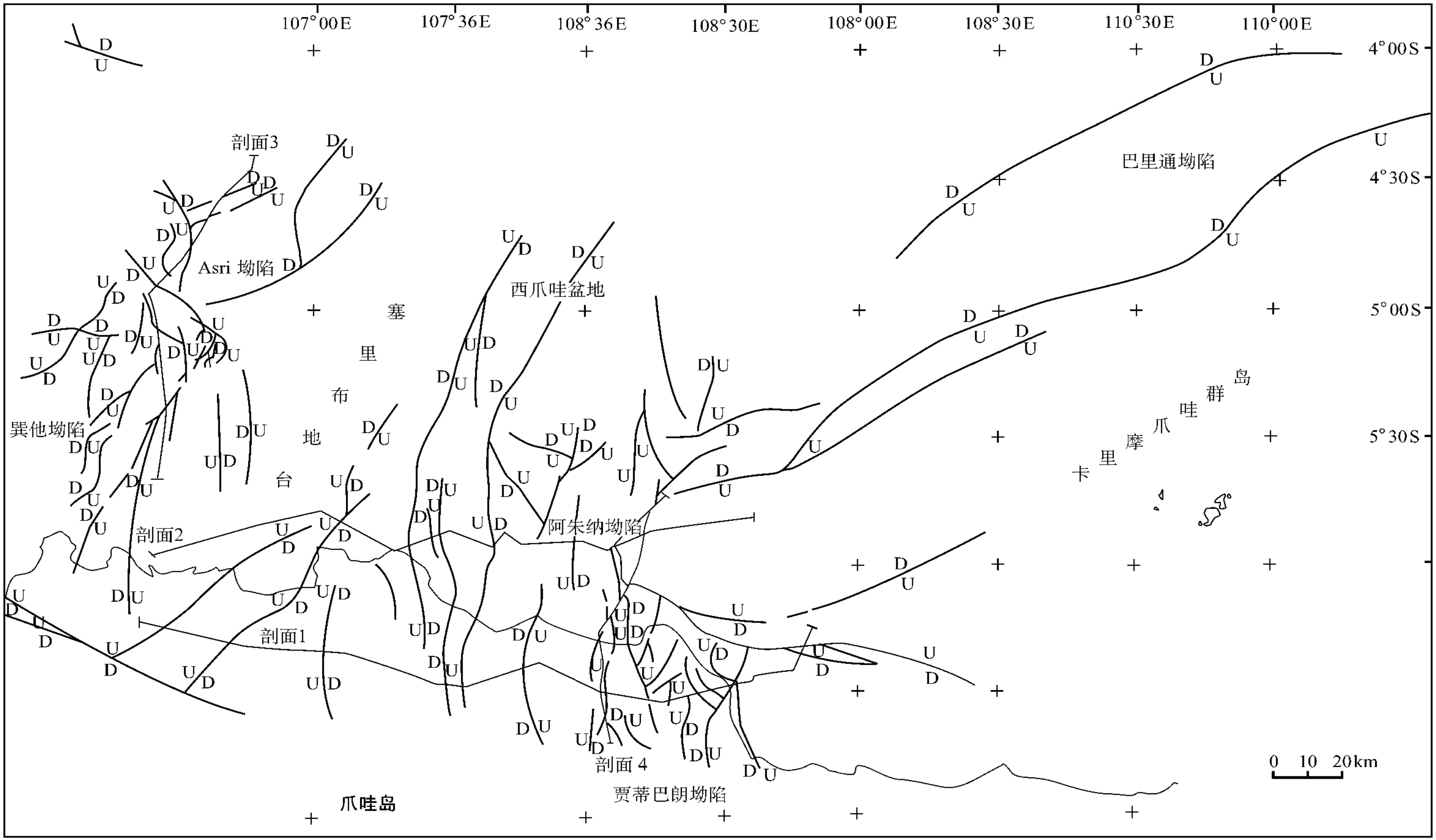


图 2—9—2 **西爪哇盆地构造纲要图**（**据** Petroconsultants，1991 **年修改**）

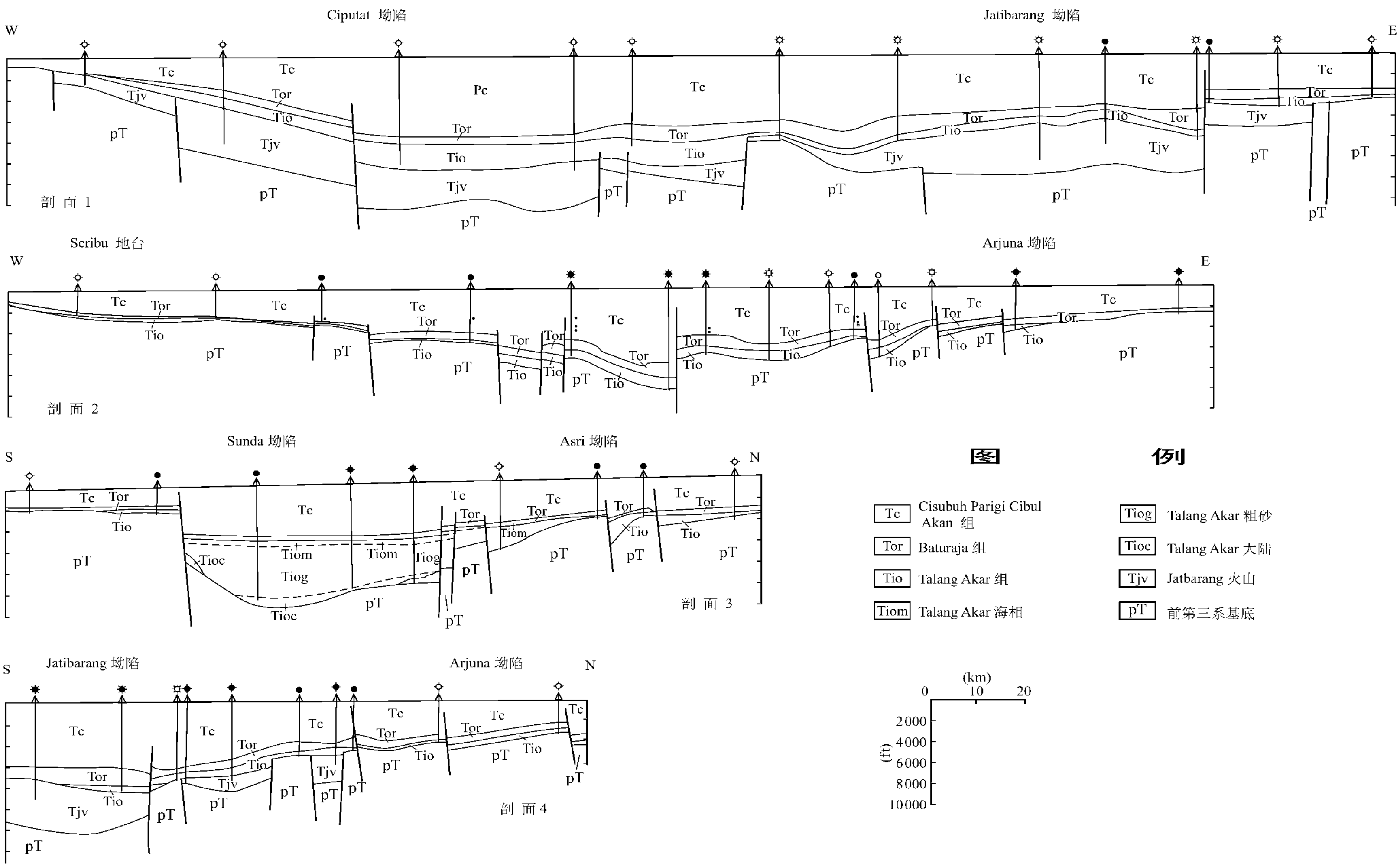


图 2—9—3　西爪哇盆地区域性横剖面图（据 Petroconsultants，1991 年修改）

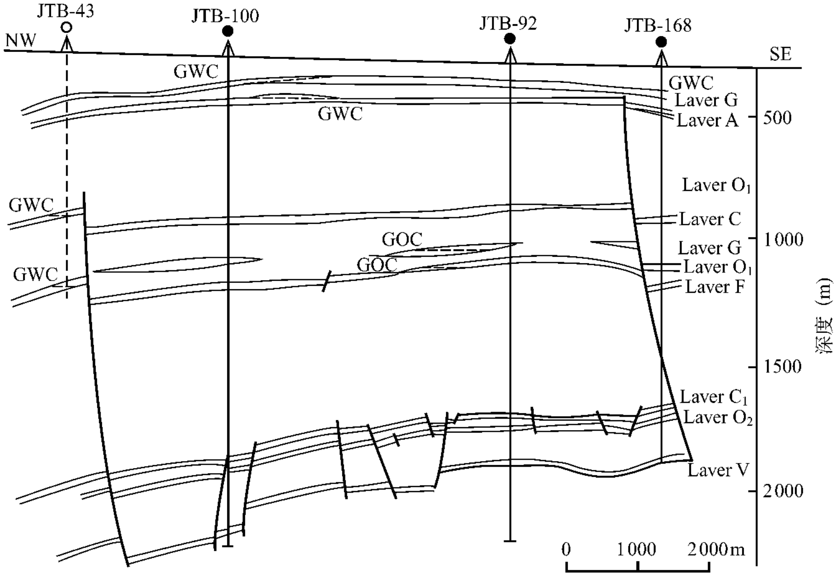


图 2—9—4　Jatibarang 油田剖面图（据 IPA Oil & Gas Fields Atlas，1989）

GWC—气水界面；GOC—气油界面

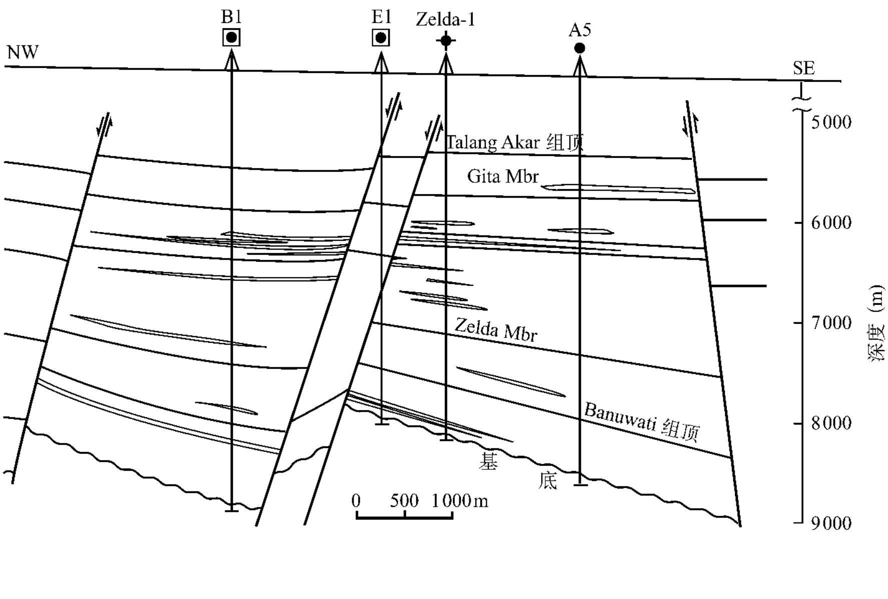


图 2—9—5　Zelda 油田剖面图（据 IPA Oil & Gas Fields Atlas，1989）

3%的凝析油和 20%的气。圈闭类型有：①受地层尖灭控制的背斜断块（图 2—9—7）；②碳酸盐岩建造上的穹窿背斜。

（4）Parigi 含油气组合。在 17 个油田和发现中存在 Parigi 含油气组合，它储集了该盆地 5%的油气，圈闭类型包括构造型、地层型和构造—地层型。构造为上新世挤压作用所形成。在 5 个油田和发现中见有 Parigi 构造油气藏，主要含气（储集了该盆地约 7%的气），圈闭由背斜和断背斜组成。在 5 个油田和发现中见有 Parigi 地层油气藏，储集的油和凝析油

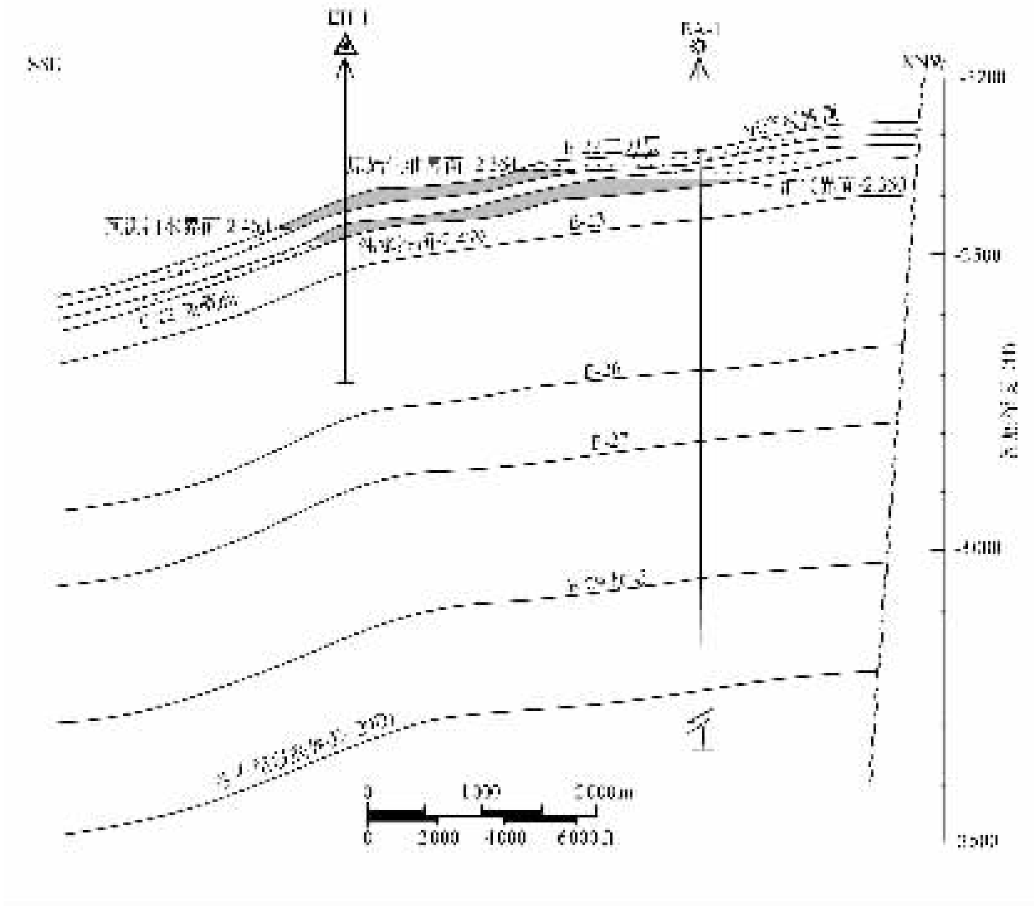


图 2—9—6　Arjuna E 油田剖面图（据 Petroconsultants，1993）

不到该盆地的 1%，气不到 7%，圈闭为生物礁。在 7 个油田和发现中见到了 Parigi 构造—地层油气藏，储集的油不到该盆地的 1%，气超过 2%，圈闭由背斜和生物礁构成。

2）含油气组合的分布

贾蒂巴朗含油气组合基本上都分布于陆上的贾蒂巴朗坳陷（图 2—9—8）。Batu Raja 组（下 Cibulakan 含油气组合）的生物礁储集层在巽他坳陷分布最广。据 Kingston（1988），阿朱纳坳陷的沉积岩 15% 由生物礁组成，该含油气组合的分布受下第三系构造的控制。上 Cibulakan 含油气组合的“Mid Main”生物礁分布于塞里布地台的东南部。前 Parigi 生物礁也分布于塞里布地台及阿朱纳坳陷南部的凸起上。Parigi 含油气组合的分布也受构造控制，这些生物礁的发育反映了古凸起的分布特征。

3）封闭时间

Talang Akar 储集层可能在页岩夹层沉积后不久就封闭了。前 Parigi 和 Parigi 组储集层有效封闭的历史很长。

4）影响油气有效圈闭的因素

（1）油气生成：晚中新世至近代，生烃高峰期为晚中新世。

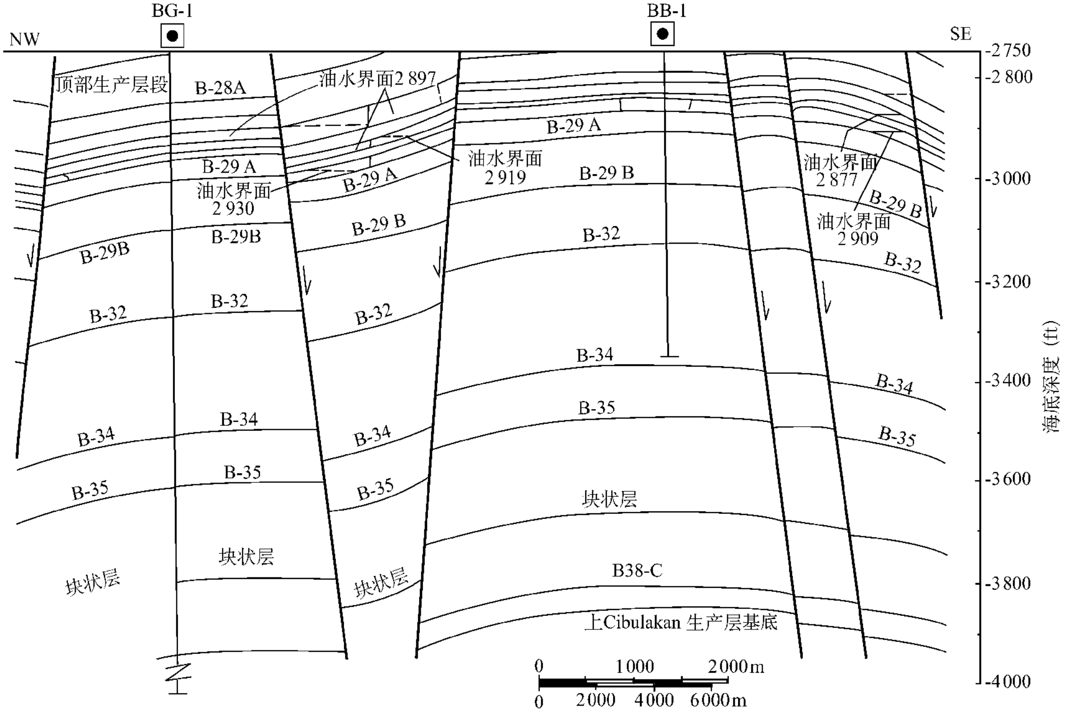


图 2—9—7　Arjuna B 油田剖面图（据 Petroconsultants，1993）

（2）圈闭形成：倾斜断块形成于晚白垩世至始新世，地层型圈闭形成于始新世至晚中新世，背斜圈闭形成于上新世至更新世。

（3）最早封闭：贾蒂巴朗储集层的封闭时间为早渐新世，下 Cibulakan 储集层的封闭时间为早中新世，上 Cibulakan 储集层的封闭时间为中中新世，Parigi 储集层的封闭时间为晚中新世至近代。可以看出绝大部分储集层圈闭的形成及封闭都早于或与生烃同时，因此有利于烃类的保存。

7. 含油气系统

西爪哇盆地的所有油气聚集都属于一个含油气系统，下 Cibulakan 群提供烃源岩，而所有重要储集层均分布于第三系不同的层位，Gumai 组、Air Benakat 组和 Cisubuh 组底部的非渗透层为盖层，Cisubuh 组为油气生成提供了必要的上覆地层。该含油气系统的持续时间大约从 38.6 Ma 前（贾蒂巴朗储集层最早沉积时期）至今。如果把前第三系基底的潜在储集层也包括进该含油气系统的话，则持续时间会更长（65 Ma 前至今）。由于第三系以页岩沉积为主，因此盖层不是一个大问题。在各坳陷生烃可能始于中中新世晚期。那时，Talang Akar 组砂岩（下 Cibulakan 群）和 Batu Raja 生物礁（下 Cibulakan 群）已形成且至少部分封闭，因此可以捕获运移而来的油气，有的油藏可能在渐新世至早中新世遭受一定的破坏。Parigi 构造圈闭的形成与运移高峰期同步，但可能未被封闭，因而可能对早期运移的油气不能捕获，不过可以捕获生物成因气。

下列因素的相互作用对西爪哇盆地石油的聚集至关重要：

（1）成熟的烃源岩，与局部的热流值及埋藏深度有关；

（2）Parigi 的有效封闭时间；

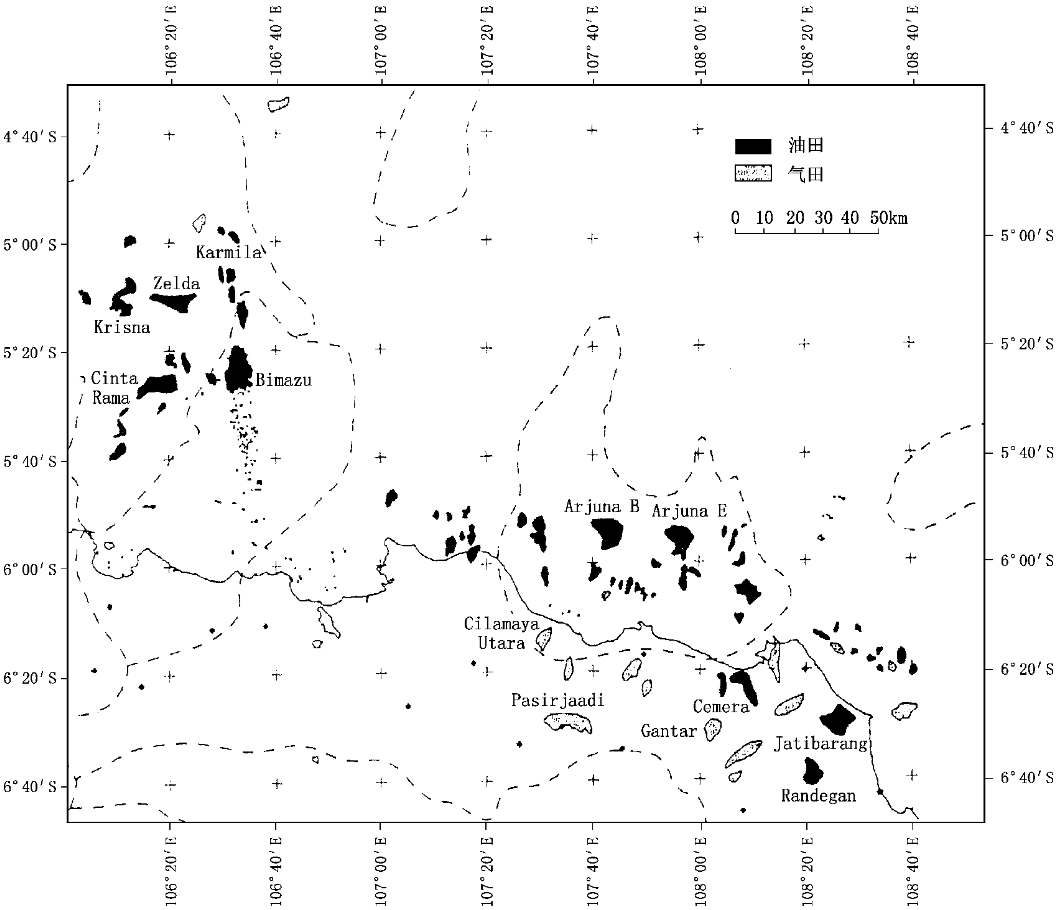


图 2—9—8 西爪哇盆地油田分布图（引自 Petroconsultants，1993）

（3）大地构造样式的方向性，可能对运移通道产生影响；

（4）区域性倾斜的方向，控制着石油运移的上倾方向。

8. 油气储量及丰度

根据 1990 年底对西爪哇盆地所有油气田和发现的统计，其最终可采油储量为 2 692.4 $\times10^6$ bbl（约 3.85$\times10^8$t），凝析油为 69$\times10^6$ bbl，天然气为 74 060$\times10^8$ ft^3（约 2 743$\times10^8$ m^3）。其油气丰度见表 2—9—3。

表 2—9—3 西爪哇盆地油气丰度（1990）

类　型	油和凝析油	气	总　量
油 气 丰 度	28 800 bbl/km^2	77$\times10^6$ ft^3/km^2	41 672 bbl（油当量）/km^2

9. 主要油气藏类型

西爪哇盆地的油气藏类型包括构造型、地层型和构造—地层型，构造型圈闭主要为背斜和断背斜，地层型主要为生物礁建造，构造—地层型主要为背斜、断层和生物礁及砂岩尖灭构成。构造圈闭和构造—地层圈闭为主要圈闭类型，尤其是后者。

10. **油气田分布**

西爪哇盆地已发现上百个油气田，主要分布于巽他、阿朱纳、贾蒂巴朗坳陷和塞里布地台（图 2—9—8），气田主要分布于贾蒂巴朗坳陷。

11. **大油气田和典型油气田（藏）**

西爪哇盆地已发现储量在 100×10^6 bbl 以上的油田有 10 多个（表 2—9—4），如贾蒂巴朗、阿朱纳、L、阿朱纳 B、Cinta、Rama、阿朱纳 E 油田等。

西爪哇盆地典型油气田（藏）为构造—地层型圈闭，如 Zelda 油田为断块及相变或向基底凸起尖灭的地层构成的圈闭，其储集层为下 Cibulakan 群，储量为油 53×10^6 bbl（约 7.5×10^6 t）、气 900×10^8 ft^3。西爪哇盆地最大的油气田为阿朱纳 B 油田，它是一构造—地层油气藏，为受地层尖灭控制的背斜断块，其储集层为上 Cibulakan 群，石油储量为 600×10^6 bbl（约 85×10^6 t），凝析油储量 60×10^6 bbl，天然气储量 15 000×10^8 ft^3（约 555×10^8 m^3）。

表 2—9—4　西爪哇盆地主要油气田可采储量

油（气）田名	油储量（10^6 bbl）	凝析油储量（10^6 bbl）	气储量（10^9 ft^3）
Arimbi oc	19.5		200
贾蒂巴朗	130		40
阿朱纳 L	15		1 000
阿朱纳 B	600	60	1 500
Bimazu	98		62
Cemra	0.5		800
Cinta	188		50
Cilamaya Utara	20		131
Waled Utara			200
Psi Oy—1			300
Rama	100		150
Widuri	175		
Zelda	53		90
阿朱纳 E	100	4	75
Gantar		0.2	400

12. **勘探开发历程及现状**

盆地从 20 世纪 60 年代开始勘探，1969 年第一次发现石油，即大油田贾蒂巴朗（石油可采储量 1 780×10^4 t），接着当年又发现阿朱纳 B 石油可采储量 9 000×10^4 t）。近期的油气发现均较小。

西爪哇盆地是印度尼西亚的主要海上产油区，也是世界上的重要油气远景区。在 20 世

纪70—80年代勘探工作十分活跃。

盆地已做地震测线19.31×10^4 km，钻预探井510口，其他探井236口，探井进尺90.2×10^4 m，约283 km²/口的密度。共有167个油气发现，每口预探井发现石油储量73.97×10^4 t。到1992年全部的探井成功率33%（1981—1990年为30%）。探明石油可采储量3.78×10^8 t（其中海上3.49×10^8 t），天然气储量2100×10^8 m³（其中海上1430×10^8 m³）。剩余石油可采储量1.59×10^8 t，剩余天然气储量1127×10^8 m³。1991年中期，日产油量3.02×10^4 t。

五、小结

（1）西爪哇盆地是由于澳大利亚—印度板块和太平洋板块的运动及向东南亚板块俯冲而形成，其大地构造演化可分为2个主要阶段，即始新世（56.5 Ma）至中中新世（10.4 Ma）的裂谷发育阶段和其后的挤压阶段，在第一阶段形成的断陷和箕状断陷中充填了火山碎屑岩、碎屑岩和碳酸盐岩沉积物，形成了该盆地的烃源岩和主要储集层。挤压阶段沉积了一套海退碎屑岩地层，成为本区主要的区域性盖层。裂谷阶段形成的构造以断层为主，而挤压阶段则形成隆起和褶皱，提供了背斜构造圈闭。

（2）该盆地在裂谷形成的早期伴有岛弧火山活动，并导致火山碎屑岩的沉积。

（3）该盆地地温梯度较高，可达3.69℃/100m，有利于烃源岩的成熟。

（4）Talang Akar组的煤和页岩为该盆地的主要烃源岩，其总有机碳含量为0.5%～20%，估计自中中新世晚期（约10 Ma前）开始生油至今。

（5）该盆地储集层发育，主要有贾蒂巴朗组的火山岩，Batu Raja的生物礁石灰岩，前Parigi和Pari组的生物礁石灰岩，Talang Akar组的三角洲砂岩及上Cibulakan群的陆棚和三角洲砂岩。

（6）下Cibulakan群提供组内局部盖层，而上Cibulakan群和Cisubuh组的页岩为该盆地主要的区域性盖层。

（7）西爪哇盆地的油气主要储集于贾蒂巴朗组、上Cibulakan群、下Cibulakan群和Parigi组的含油气组合中，其中下Cibulakan群最为重要，大部分油气储集于此。

（8）西爪哇盆地的油气藏类型包括构造型、地层型和构造—地层型，构造型圈闭主要为背斜和断背斜，地层型主要为生物礁建造，构造—地层型主要由背斜、断层和生物礁及砂岩尖灭所构成。构造型和构造—地层型为主要圈闭类型，尤其是后者。

（9）该盆地只有1个含油气系统，即Cibulakan含油气系统。

参考文献

Djaja I. 1987. The FWS area on the F－High trend，offshore N. W. Jawa，a new approach to an old play. Proceedings of the 16th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association，16（1），19－45

Fainstein R，Pramono H. 1986. Structure and stratigraphy of AVS field，Jawa Sea. Proceedings of the 15th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association

Koswara M，Negre J，Hendra L. 1990. The Intergration of geophysical，geological and petrophysical data：A case study in North West Jawa，Indonesia. Eighth Offshore Southeast Asia Conference，165－171

Suherman T，Syahbuddin. 1986. Exploration history of the MB field coastal area of

northwest Jawa. Proceedings of the 15th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association

Daly M C, Hooper B G D, Smith D G. 1987. Tertiary plate tectonics and basin evolution in Indonesia. Proceedings of the 16th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association, 16 (1)

Wight A, Hardian D. 1982. Importance of diagenesis in carbonate exploration and production, lower Batu Raja carbonate, Krisna field, Jawa Sea. Proceedings of the 11th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association

Adnan A, Sukowitono. 1991. Jatibrarng Sub—Basin—A half graben model in the onshore of Northwest Jawa. Proceedings of the 20th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association, 20 (1)

Fainstein R. 1987. Exploration of the North Seribu Area, northwest Jawa Sea. Proceedings of the 16th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association, 16 (1), 191—214

Crumb R E. 1989. Petrophysical properties of the Bima Batu Raja carbonate reservoir, offshore Northwest Jawa. Proceedings of the 18th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association

Miller N R, Kaldi J G. 1990. Strontium isotope chronostratigraphy and diagenesis of the Batu Raja limestone, offshore northwest Jawa, Indonesia. Bull. of AAPG, 74 (5), 728—729

Ponto C V, Wu C H, Pranoto A, *et al*. 1987. Controls on hydrocarbon accumulation in the main and massive sandstones of Cibulaka Formation, offshore Northwest Jawa Basin. In: Barber, a. J., Phao, Rudy, S. K. (eds), Sixth Regional Conference on Geology, Mineral and Hydrocarbon Resources of Southeast Asia

Ponto C V, Wu C H, Pranoto A, *et al*. 1988. Improved interpretation of the Talang akar depositional environment as an aid to hydrocarbon exploration in the ARII offshore Northwest Jawa contract area. Proceedings of the 17th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association, 17 (1), 397—401

Fraer A J, Matthews S J, Murphy R W. 1997. Petroleum geology of Southeast Asia. The Geological Society, London

第十节　中苏门答腊盆地

中苏门答腊（Central Sumatra）**盆地位于苏门答腊岛中部，巴里桑**（Barisan）**山系以东的地区，面积**11 240 km^2**，其中**76%**的面积分布于陆上，其海上部分延伸到马六甲**（Malacca）**海峡**（**图**2—10—1）。

中苏门答腊盆地与北苏门答腊盆地之间的界线为一基底隆起，该隆起可能是 Asahan**群岛向陆方向的延伸。而该盆地仅由一北东—南西向的凸起与南苏门答腊盆地部分相隔，这一凸起是蒂加普卢**（Tigapuluh）**山隆起的一部分。该盆地的东界为向西倾斜的马来**（Malayan）**地盾**（**巽他克拉通**）**，西面以巴里桑山系的火山弧为界，在此处前第三系岩石及第三系**

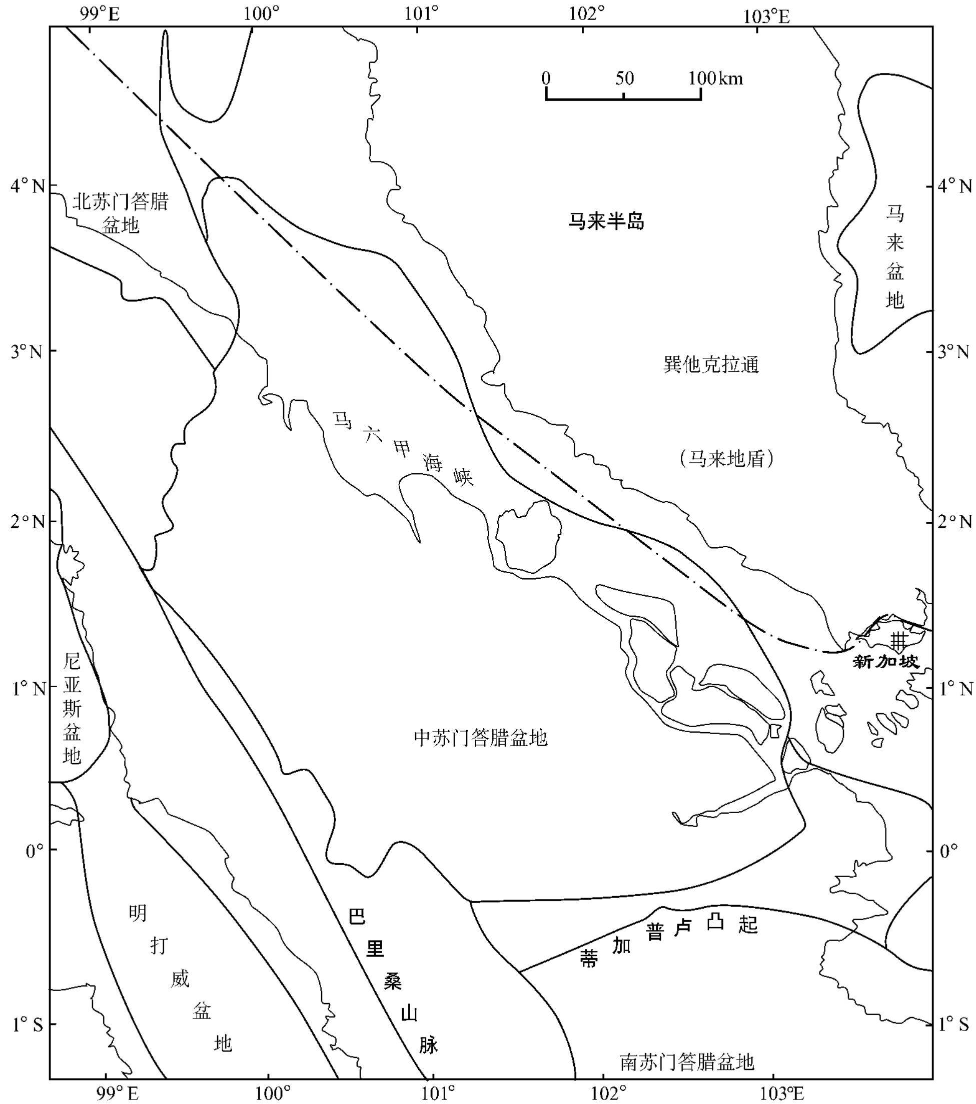


图 2—10—1　中苏门答腊盆地位置图（**引自** Petroconsultants，1993）

沉积物沿断层和隆起出露。

第三系沉积物在中央深凹的厚度为 3　000 m；但是，其基底埋深一般小于 2　500 m，而在大部分地区第三系厚度小于 1　500 m。第三系向北和东面的马来地盾和 Asahan 群岛方向减薄。东南方该盆地对南苏门答腊盆地敞开，并且两盆地的第三系能够对比。

该盆地最有意义的沉积中心为一与 Pematang 凹陷和 Kiri 凹陷相连的深断陷，且俗称中央坳陷。该盆地发育了多个以南北向或北西—南东向延伸为主的凹陷，并分别以基底凸起或断层为界。在中苏门答腊盆地现已发现 2 个世界级的巨型油田：即储量达数十亿桶的 Minas 油田和 Duri 油田。

一、区域地质

1. 盆地演化

中苏门答腊盆地的演化可分为以下几个阶段。

1）前裂谷基底的形成期

中苏门答腊盆地第三系之下有3个不同的基底带：西部以杂砂岩组成的基底延伸到中央坳陷及相关区域的下面；东面沿海岸平原区之下为以石英岩为主的阶地；二者之间被一狭窄的深海沉积物带分开。因此，基底岩性复杂，包括石英岩、燧石、石灰岩、页岩、杂砂岩、凝灰岩、变质泥岩、千枚岩、片岩和玄武岩等。基底曾遭受火山活动的影响，局部尚发育有酸性侵入岩（主要为花岗岩）。前第三系基底的时代为早二叠世至早白垩世，因此其前第三系地史复杂。

2）早裂谷期的弧后拉张：早始新世（？）至渐新世（？56.5—23.3 *Ma*）

早、中始新世至早渐新世弧后拉张作用在中苏门答腊盆地形成了一系列南北向和北西—南东向的地堑、半地堑（箕状断陷）及分散的正断层。伴随着地块快速旋转和沉降，在构造作用控制的盆地内部，尤其是中央坳陷区沉积了Pematang群的碎屑岩。

裂谷期的沉积环境包括冲积扇、河流和湖相；在中央坳陷区，湖相页岩（Brown Shale组）的有机质含量高，为该盆地主要烃源岩之一。沉积物来源于盆地内的凸起区及东面的巽他克拉通。在古近纪和新近纪早期，凸起区如像Kampar、Beruk和Kubu凸起既是物源区，也起限制盆地范围的作用。在裂陷作用的初期，断陷间的连通性极差，且以沼泽和淡水湖为特征，断陷间由小河流及众多小型三角洲连接起来。淡水环境广泛发育，但其微咸水条件表明当时气候变化不大，化学沉积层不多，偶尔伴有海水侵入。该盆地当时地处热带气候区，湖水年周转性差，这有利于缺氧湖泊环境的发育及非海相烃源岩的沉积。

渐新世期间，沿断陷的东缘发生构造反转，从而结束了Pematang群的沉积。此裂陷幕向西的翘倾及其大地构造活动与岛弧逆反和碰撞有关，随后出现新的沉积轴向。这次构造活动加上低水位期主要海平面变化，在Pematang群顶部形成了一个重要的不整合面。老第三纪末，中苏门答腊盆地除少数几个凸起外，几乎全部被准平原化。

3）晚裂谷及坳陷期的后裂谷沉降：早中新世至中中新世（23.3—10.4 *Ma*）

早中新世时出现了一次构造平静期，裂谷演化阶段结束，代之以区域性沉降，盆地样式发生了变化，成为一中新世坳陷型盆地。

构造活动仅限于沿断块边界断层的垂向运动及断陷沉积中心的沉积负荷调整，这一构造平静期应当归因于冷却板块运动的影响下，弧后环境中的区域性热流值降低。但是也出现了间歇性火山活动，其表现为在盆地的东缘形成了斑状辉绿岩岩床和岩墙。

中新世初期，发生了来自西南方的海侵；到中中新世早期，中苏门答腊盆地全部被海水淹没，当然其间也出现过数次小的海退。

早中新世Sihapas群由三角洲相的砂泥岩互层组成，Sihapas三角洲复合体主要是受潮汐作用的强烈影响，同时该地层单元的沉积还受基底构造的强烈影响。

在中央坳陷区，该单元的底部为沉积于浅海环境的海侵砂岩（Menggala组），这些砂岩的上面为开阔海陆棚相的钙质页岩、砂岩（Bangko组）、浅海至滨面相的砂岩（Bekasap组）、海绿石砂岩与泥岩互层（Duri组）。在Menggala组和Bekasap组沉积时期，砂岩的分布受到Rokan凸起的限制，该凸起为沉积的东北边界。在Bengkalai低凹区（现海岸平原区），Sihapas组下段为河流相砂岩，Sihapas组上段由沉积于低能环境下的页岩和细砂岩组成。在Kampar东南部，海侵序列的底部为Lakat组河流相粗砂岩，其上为海岸平原和三角

洲平原相的灰绿色页岩（Tualang 组）。

Sihapas 群（Bangko 组和 Menggala 组）底部的沉积物主要来源于南方；而其上覆的砂岩和页岩主要源于东北面的巽他大陆结晶高地和马来半岛。

早中新世至中中新世，Telisa 组沉积于非常低能的开阔浅海和外浅海环境，Telisa 组的沉积代表了新近纪最后且最广泛的海侵，在盆地方向它与 Sihapas 群属同时代地层。但是，在盆地的东北部，Telisa 组部分地层要年轻一些，并且在从西南到东北的穿时层序中可以发现海相页岩缓慢地沉积在 Sihapas 群（Duri 三角洲）不断退积的砂岩舌状体上。来自于 Duri 三角洲的碎屑物质使海水变得浑浊而不利于生物礁在该盆地发育，这一点与印尼的其他盆地则不同。

中中新世末，海侵结束，注入中苏门答腊盆地的粗碎屑物质明显减少。沉积环境突然从海侵旋回转化为陆相盆地充填的进积旋回，在东北部沉积于边缘海到微咸水环境的 Petani 组不整合于 Telisa 组之上。

4）挤压期的压扭体系：晚中新世至今（10.4—0 *Ma*）

中中新世末该盆地开始了新一轮的构造演化阶段，其构造活动的高潮出现在晚中新世。相对于东南亚板块而言，澳大利亚—印度板块继续向北运动，加之斜向俯冲，而形成右旋扭断体系，致使巴里桑山系的形成。第三纪晚期的沉积物强烈受此构造活动的影响，扭动体系的挤压作用形成了高角度逆掩断层构造和北西—南东走向的巽他型褶皱。

该构造—地层单元的底部标志着发生于该盆地的一次长期海侵的结束，在中中新世的抬升与剥蚀之后，该盆地充填了来自于西南面巴里桑山系的碎屑物质，该地层单元由中中新世至更新世 Petani 组页岩和 Minas 组河流—三角洲相的沉积物组成。

晚中新世至上新世，穿时的 Petani 组记录了中苏门答腊盆地一次主要的海退，沉积环境迅速从浅海环境过渡为滨海环境再到沼泽环境。

更新世时期，巴里桑山带得到了充分发育，并且发生了广泛的火山侵入活动、后期的区域性扭断及高角度逆断层的形成，至今还对中苏门答腊产生着影响。在整个苏门答腊地区第四系沉积主要为冲积相和陆相。在中苏门答腊盆地沉积了 Minas 组的冲积河口湾砂、泥炭和泥。

在裂谷演化阶段形成的主要构造为盆地边缘的地垒、地堑、断块和正断层；而在晚中新世以后的挤压期，以前的断层被激活并发生走滑运动等，这一阶段形成的主要构造包括南北向正断层、北西向的逆断层、北北西向雁行排列的扭断层、北西—南东向的褶皱等。盆地的演化、充填及构造分布可从构造格局图和横剖面图上得到充分的反映（图 2—10—2、图 2—10—3）。

2. 地层简介

中苏门答腊盆地发育的地层如表 2—10—1 所示。

（1）始新至渐新世 Pematang 群：由冲积扇、河流和湖沼相的碎屑岩组成，其中 Brown Shale 组的页岩为主要烃源岩之一；该群包括 Fanglomerate 组、Brown Shale（褐色页岩）组、Coal Zone（煤层）组和下 Red Beds（红层）组等，厚约 1800 m。

（2）早中新世 Menggala 组：由浅海环境的海侵砂岩组成。

（3）早中新世 Bangko 组：为开阔海陆棚相的钙质页岩、砂岩。

（4）早中新世 Bekasap 组：为滨海至滨面相的砂岩。

（5）早至中中新世 Duri 组：海绿石砂岩与粘土岩互层。

（6）早至中中新世 Sihapas 组：下段为河流相底部砂岩，上段由沉积于低能环境下的页岩和细砂岩组成。

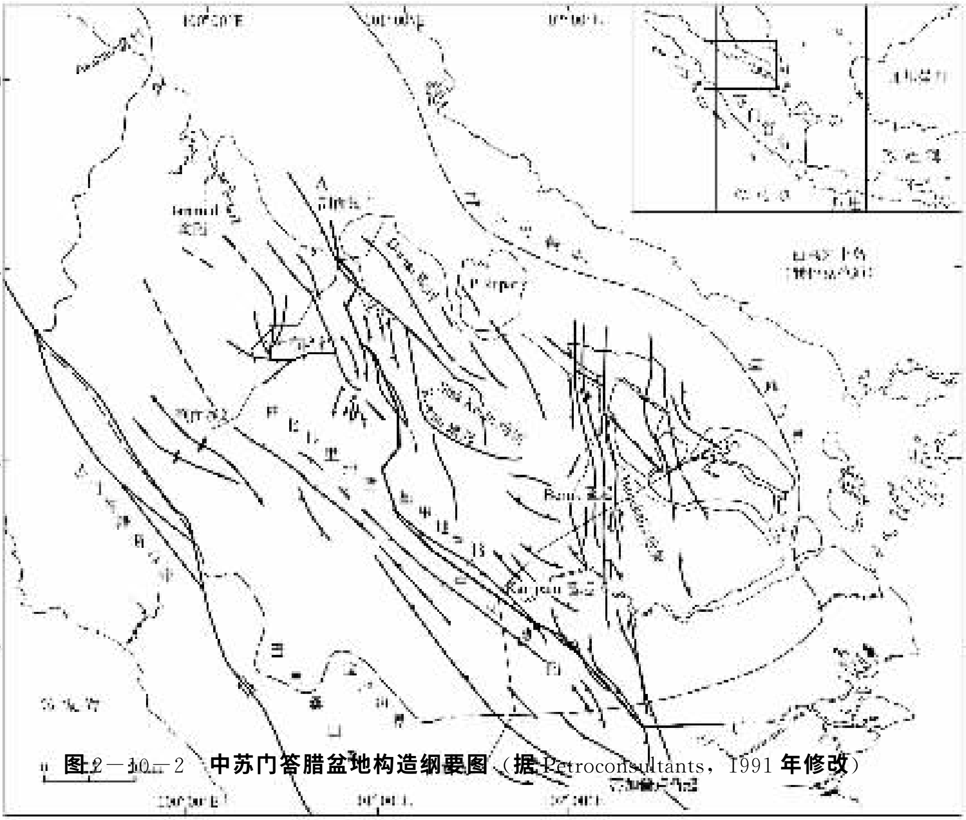


图2—10—2　中苏门答腊盆地构造纲要图（据Petroconsultants，1991年修改）

（7）早中新世 Lakat 组：河流相粗砂岩，发育于 Kampar 东南部。

（8）早中新世 Tualang 组：海岸平原和三角洲平原相的灰绿色页岩，发育于 Kampar 东南部 Lakat 组之上。

（9）早中新世至中中新世 Telisa 组：沉积于非常低能的开阔浅海和外浅海环境页岩，Telisa 组代表了新第三纪最后且范围最广的海侵。

（10）中中新世至上新世 Petani 组：由盆地充填页岩组成，其中含 Wingfoot 段砂岩。

（11）更新世 Minas 组：由河流—三角洲相的沉积物组成，包括砂、泥炭和泥。

二、大地热流

在巽他边缘弧后裂谷盆地中，该盆地的基底埋藏最浅，地温梯度最高，平均为 4.47℃/100m，生油窗位于 1 200 m 处，有的学者估计平均地温梯度为 4.98 ℃/100m，在 Pedada 油田测得的地温梯度高达 13.66 ℃/100m，这一异常特征可能与很薄的破裂硅铝地壳有关，在此地壳中有深层的岩浆侵位。因此，新、老第三纪沉积物的温度都非常高。Telisa 组和 Petani 组的页岩起到了阻止热流向地表流动的作用，因此以热流的横向运动为主。在盆地区和断陷区，热导率最低，因此相对而言，基底凸起区的热导率最高。

三、火山活动

早中新世时出现了一次构造平静期，裂谷演化阶段结束，代之以区域性下降；但是，也出现间歇性的火山活动，表现为在盆地东缘的斑状辉绿岩岩床和岩墙。更新世时期，发生了广泛的火山侵入活动。

四、含油气性

1. 烃源岩

下第三系 Pematang 群的页岩和煤及上第三系 Telisa 组的页岩为主要烃源岩。中苏门答

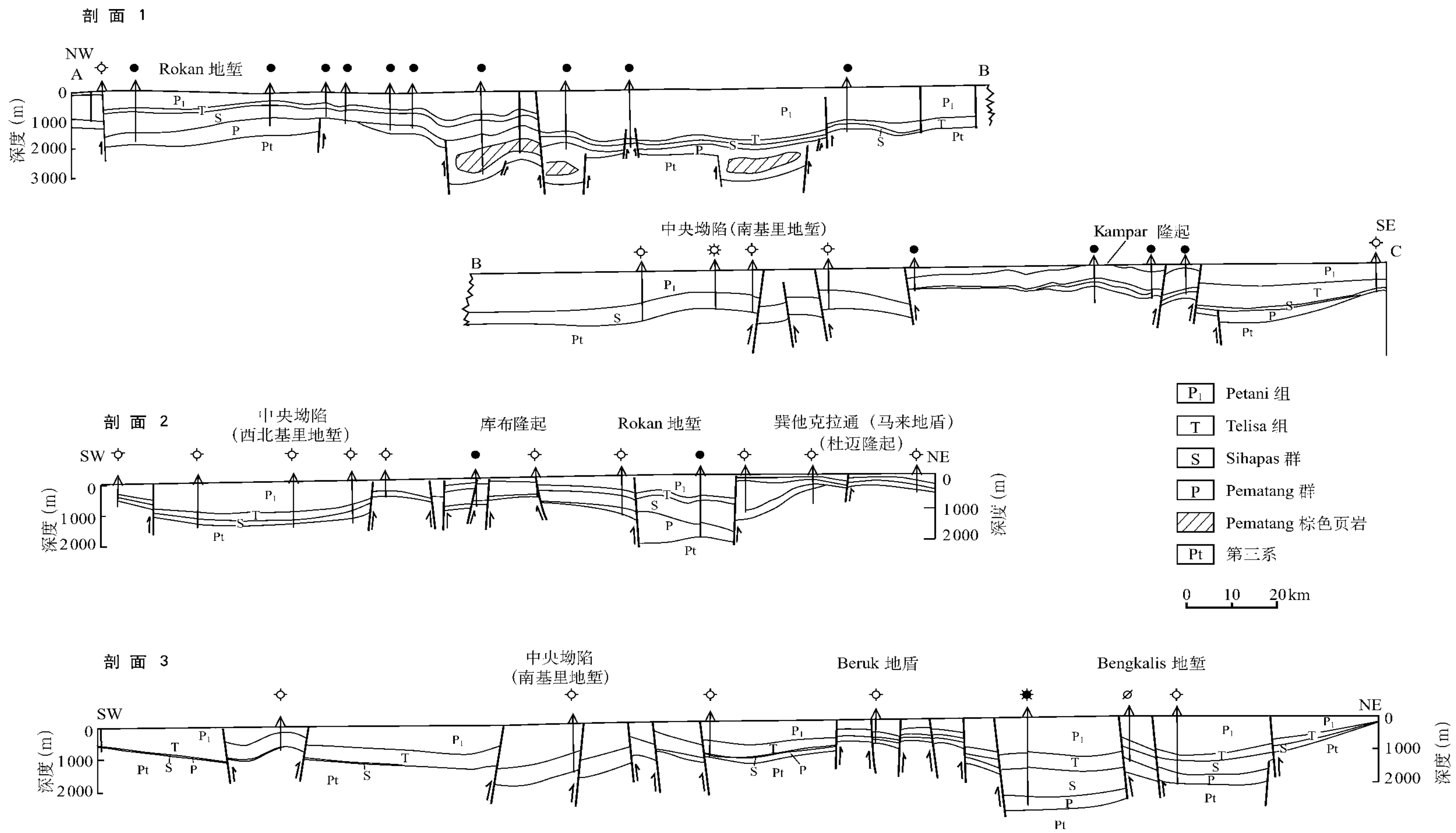
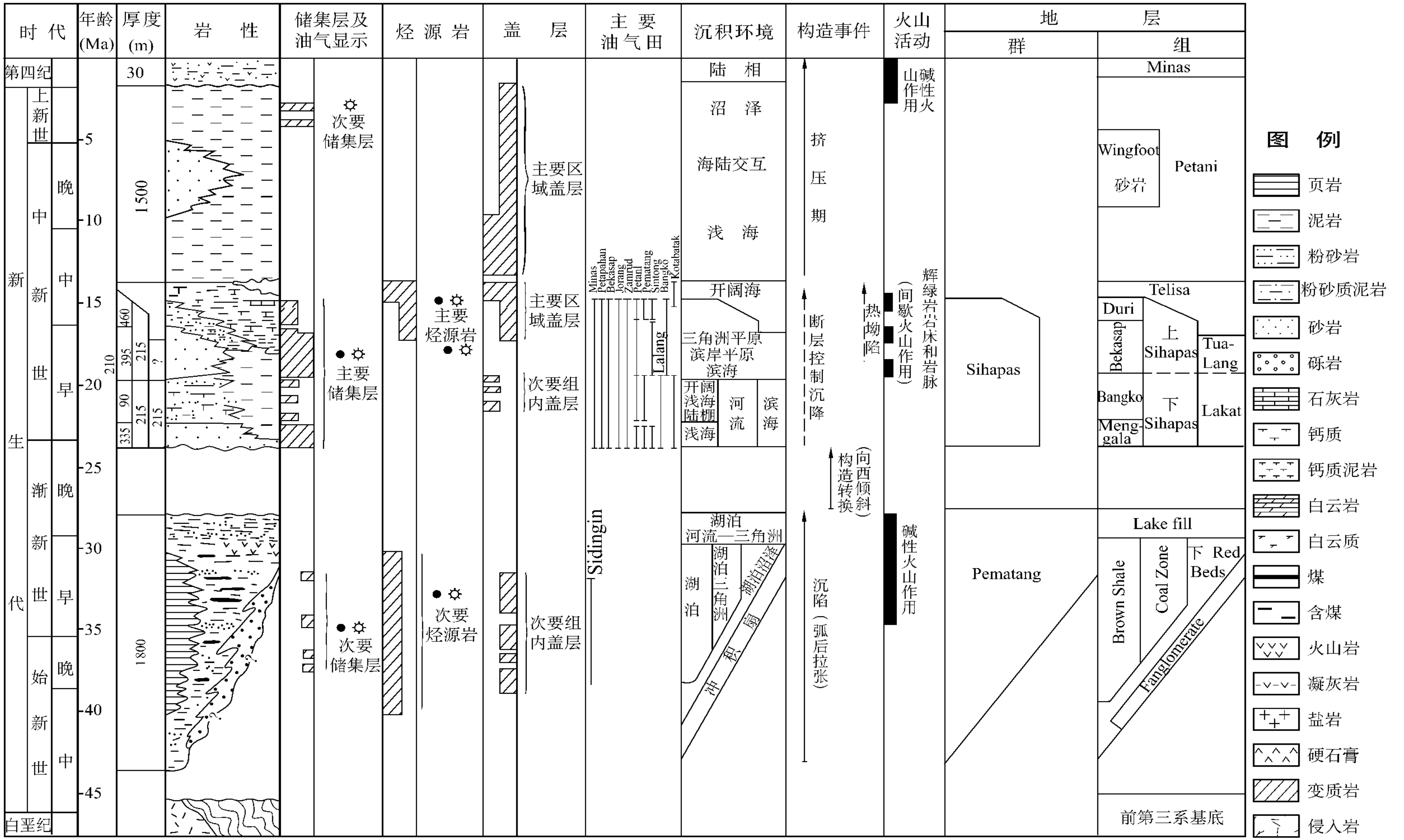


图 2—10—3 中苏门答腊盆地区域横剖面图（据 Petroconsultants，1990 年修改）

表 2—10—1　**中苏门答腊盆地综合地层表（引自 Petroconsultants，1993）**



腊盆地的大多数油气来源于 Pematang 群富含有机质的湖相页岩，如 Brown Shale 组页岩。Longley 等人（1990）认为 Brown Shale 组是浅层和深层湖相烃源岩，具有良好至极好的生烃能力。在马六甲海峡的 PSC 地区，页岩沉积于闭塞的湖盆，以淡水浅湖环境为主，底部为缺氧环境。Williams 等（1985）在 Pematang 群中确定了两类烃源岩，即藻类无定形烃源岩和碳质页岩，前者以生油为主，其代表为中央坳陷的 Brown Shale 组，其总有机碳含量平均为 2%～4%，最高 12%；后者以生气为主，生少量凝析油和油，以 Kiri 低洼区的 Coal Zone 组为代表，其总有机碳含量高达 43%，其显微组分包括具腐殖特征的镜质组、壳质组和惰质组。

在 Pekan、Kayuara 和 Binio 油田开采了来源于下第三系深湖相类型Ⅱ的原油，其姥/植比表明烃源岩为缺氧环境，甲基甾烷中 C_{28}～C_{30} 的浓度非常高，这可能是其来源于深湖环境之故。这种石油可能是在成熟度较低的情况下生成的（R_o=0.55%～0.64%）。在 Pekan 和 Pulai 油田中发现的 $Ⅱ_B$ 型原油运移的距离最长，先是沿盆地翼部的侧向向上倾方向进行运移，距离可能有 7～10 km，然后再沿控制油田分布的主断裂运移。在 Minas 油田也产蜡质低硫原油。由于该油田为东南亚最大的油田，因此，Minas 原油已成为世界原油市场此种原油的代名词。

Telisa 组厚层细粒海相页岩为该盆地另一套烃源岩，由于富含动物群化石和藻类物质，故可能是 Petapahan 和 Duri 油田的烃源岩；但是，在现在的海岸平原区，Telisa 组和 Sihapas 组上段的页岩有机碳含量都太低（小于 1.5%），而不足以生油。

地球化学及显微分析表明 Petani 组和 Telisa 组主要为气源Ⅲ型干酪根，所测得的镜质组反射率表明这些组在整个中苏门答腊盆地从未成熟到刚刚成熟，大多数 R_o 介于 0.42%～0.62%，Petani 组和 Telisa 组的未成熟特征在 Minas 油田尤为明显。但是，局部地区这些烃源岩的 R_o 稍高，表明它们可能位于生油窗的上部，在 Kotobatak 油田和 Aman 低洼附近情况就是如此，此处的 R_o 为 0.99%，表明这些烃源岩接近生油高峰。

在巽他边缘弧后盆地中，该盆地的基底埋藏最浅，地温梯度最高，平均为 4.47 ℃/100m，生油窗位于 1200 m 处，有的学者估计平均地温梯度为 4.98 ℃/100m，在 Pedada 油田测得的地温梯度高达 13.66 ℃/100m。因此，它对烃源岩的成熟非常有利，这也是尽管该盆地沉积盖层不厚，且烃源岩深埋时间短却仍能生烃的缘故。这一显著特征是由于区域性板块构造运动引起的深部岩浆侵扰使得地壳变薄和硅铝地壳破裂所致。

第三纪沉积期间，盆地出现了异常高温现象，Telisa 和 Petani 组的页岩对地表热流的上逸和侧向传导起到了阻挡的作用；盆地区或凹陷区的热传导率最低，而基底凸起区则最高。

生烃可能开始于第三系 Brown Shale 组（Pematcmg 群）沉积后不久，但是，生油主要发生于自中新世至上新世的几个排油阶段，这是由于地壳减薄和沉降导致热流值增加之故。生油高峰可能出现在上新世，Pematang 群烃源岩的成熟时间、生油高峰期以及排油时间在不同的地区有所不同，即便是在中央坳陷区也存在着差异。Brown Shale 组在 Rangau 断陷过成熟，而在 Aman 和 Balan 断陷才刚刚达到成熟。在 Siak－Kecil 断陷，Pematang 群尚未成熟，这种差异可能是沉降速率不同、晚期沉降和地温梯度较低所造成。

2. 储集层

北苏门答腊盆地所有的产层都位于前第三系基底与下—中中新统 Telisa 组页岩之间，Sihapas 群储集层储集了该盆地 95%的油，该群的主要储集层位于 Duri 组、Bekasap 组和 Menggala 组中，其沉积环境从开阔海到三角洲平原至前缘，孔隙度 10%～40%，在 Minas

油田平均为27%，渗透率平均为1 500×10^{-3} μm^2，最高为2 300×10^{-3} μm^2。在Lalang油田，Sihapas组下段滨岸平原相储集层的孔隙度可达25%，渗透率为（350～1 800）×10^{-3} μm^2。河流相砂岩是最好的储集层。

Pematang群河—湖相砂岩和砾岩及Telisa组下段边缘海砂岩为次要产层。Pematang群最好的河流相储集层孔隙度为18%～23%，渗透率可达122×10^{-3} μm^2。储集层受断陷区翼部和轴部的限制较为常见，Telisa组的海绿石砂岩在Petapahan和Kotobatak油田产油气，储集层的孔隙度为18%～25%，但渗透率低，因而油气产量很低。

Beruk Tmur—laut油田前第三系基岩储集层也产油，石油产自于裂缝性变质石英岩、遭受过风化的泥质岩和花岗岩之中，时代从早二叠世到早白垩世。基岩储集层中的石油可能与第三系其他储集层中的石油同源。推测石油可能通过Sihapas砂岩或沿前第三系不整合面运移到基底凸起中去的，断层可能也扮演了油气运移通道的角色。在Petani组的砂岩和粉砂岩薄层中发现有少量的生物成因气。各层位中的油气储量见表2—10—2。

表2—10—2 各层位油气储量

层 位	中始统—下渐新统（Pematang组）	下中新统（Sihapas群）	中中新统（Telisa组）	上中新统—上新统（Petani组）
油（10^6 bbl）	121	12 381	75	
气（10^9 ft^3）	386	1 569		61

3. 盖层

中苏门答腊盆地的主要盖层如下：

（1）中始新统—下渐新统（Pematang群）：页岩夹层和煤层，Pematang储集层的局部组内盖层。

（2）下中新统—中中新统（Sihapas群）：Sihapas内的页岩夹层，尤其是Bangko组内的页岩，Sihapas群叠置砂岩储集层的局部组内盖层。

（3）下中新统—中中新统（Telisa组）：页岩，Sihapas和Telisa砂岩储集层的区域性盖层。

（4）中中新统—上新统（Petani组）：页岩，Sihapas和Telisa砂岩储集层的区域性盖层。

4. 油气生成与运移

由于中央坳陷区和Bengkalis低洼区几乎所有的主要构造都产油，因此，流体运移非常有效。在整个第三纪，沉积负荷的调整和下翘作用激活了边界断层，这可发育很好的油气运移通道，使油气能够从古近系烃源岩中运移到上覆的新近系储集层中去。中央坳陷区油田的位置说明运移通道受北西—南东向构造趋势的控制，这种构造样式可能会使某些方向的侧向运移通道比另一些要长。第三次运移（从已存在的聚集中油气发生再次运移）在该盆地可能很广泛。有学者认为现在的圈闭中有相当大一部分为第三次运移的油气所充注，并且一旦构造形成，储集层中的油就会侧向运移至其中，这种第三次运移可能发生于2个层位。第一，最初圈闭在Pematang组沉积物中的石油可能在上新世的构造活动中运移出来，并占据因断层复活而形成的新圈闭；第二，Sihapas组砂岩为很好的储集层和输导层，石油到达该砂岩

后进一步进行侧向运移可能很有效。

圈闭充注一般都较好，平均充注率为 40%，但充注量却因地区而不同，有的圈闭充注至溢出点，而有的只充注了 22%。许多看起来很有利的圈闭其实并不含油，这是因为它们形成于该地区油气发生运移之后。

5. 主要含油气组合

作为印度尼西亚最高产的盆地，中苏门答腊盆地的地质背景很简单，Sihapas 组砂岩是主要的含油气组合，其圈闭或为沉积披覆构造或为拖曳褶皱。

1）含油气组合类型

（1）Sihapas 含油气组合。在 164 个油田和发现中见有 Sihapas 含油气组合，其储量占中苏门答腊盆地到目前为止所发现的可采储量的 98%左右，它目前处于成熟勘探阶段。下中新统储集层为沉积于开阔海到三角洲平原至前缘的高孔隙砂岩（图 2—10—4），构造包括古近纪拉张期及新近纪挤压期产生的构造，盖层为 Telisa 组和（或）Petani 组页岩或组内页岩隔层。

其中 159 个油田和发现中为构造油气藏，储集了该盆地 93%的油、20%的气和 80%的凝析油。圈闭为与盆地内部凸起边缘有关的地垒和断块（图 2—10—5）到狭窄、受扭动影响的背斜构造（常与高角度的逆断层作用有关）（图 2—10—6 和图 2—10—7）。

地层油气藏，储集了该盆地 5%以上的油和大约 6%的气。圈闭为由宽缓背斜和砂体横向尖灭构成的复合圈闭（如图 2—10—8）以及砂岩上超或尖灭于基底凸起上（如 Kotabatak，MS TA 1，Tandun）所形成的圈闭组成。

（2）Pematang 含油气组合。另一个勘探目标层为 Pematang 含油气组合，在 9 个油田和发现中找到该含油气组合，其储量占该盆地已发现油的 1%，气不到 20%，圈闭为构造型的，包括背斜（如 Gulamo，MS DC 1，Sidingin 油田）、断背斜（如 Gatam）和高角度逆断层（如 Pekan）。

（3）次要含油气组合。该盆地还发育有一些次要的含油气组合，包括 Petani 含油气组合，在 3 个发现中见到了该组合，其圈闭为构造型，仅含一些气（占该盆地气储量的 3%）。Telisa 含油气组合为另一次要含油气组合，仅在 3 个油田中发现该含油气组合，其储量不到该盆地的 0.6%，圈闭主要为构造型圈闭。Telisa 构造含油气组合，仅在 2 个油田中有发现，其储量占盆地不足 5%。Telisa 构造—地层含油气组合仅发现于 1 个油田（Kotabatak 油田）。它是由于砂岩储集层上超到基底凸起之上所形成。

2）封闭时间

Sihapas 储集层在本组内的页岩沉积后不久便被封闭，后来 Telisa 组和 Petani 组又覆盖其上，有效盖层形成的时间跨越了大约 22 Ma，即从早中新世至晚上新世，这期间沉积了 Sihapas 组的互层页岩直到 Petani 组结束。

3）影响油气形成有效圈闭的因素

（1）油气生成：从始新世至今，生烃高峰在中新世至上新世。

（2）圈闭形成：地层圈闭形成于始新世至早中新世，断块圈闭形成于始新世至早渐新世，背斜圈闭形成于晚中新世至今。

（3）最早封闭：Pematang 储集层的局部组内盖层形成于中始新世，Sihapas 储集层的组内局部盖层和区域性盖层形成于早中新世。

（4）油气运移：运移的时间与圈闭的形成有关，因而较早且有效。

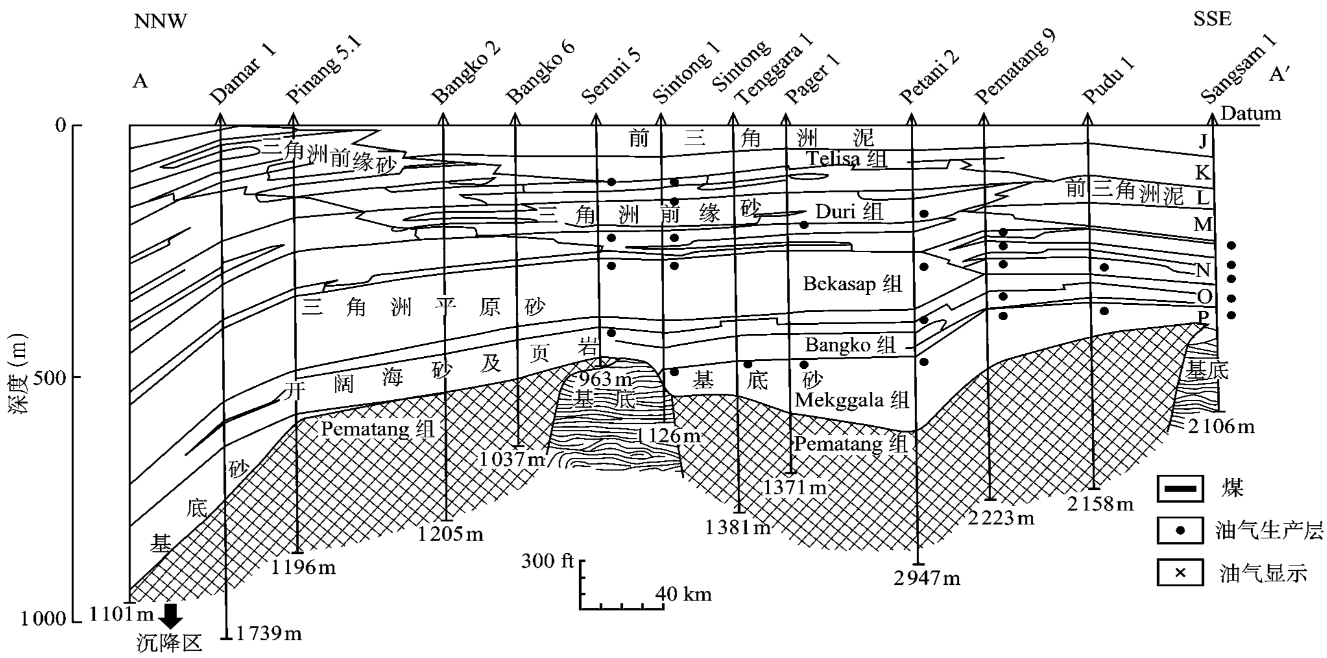


图 2—10—4 **从** Damar **油田到** Sanggam **油田的地层横剖面图（据** Wongsosantiko，1976 **年修改）**

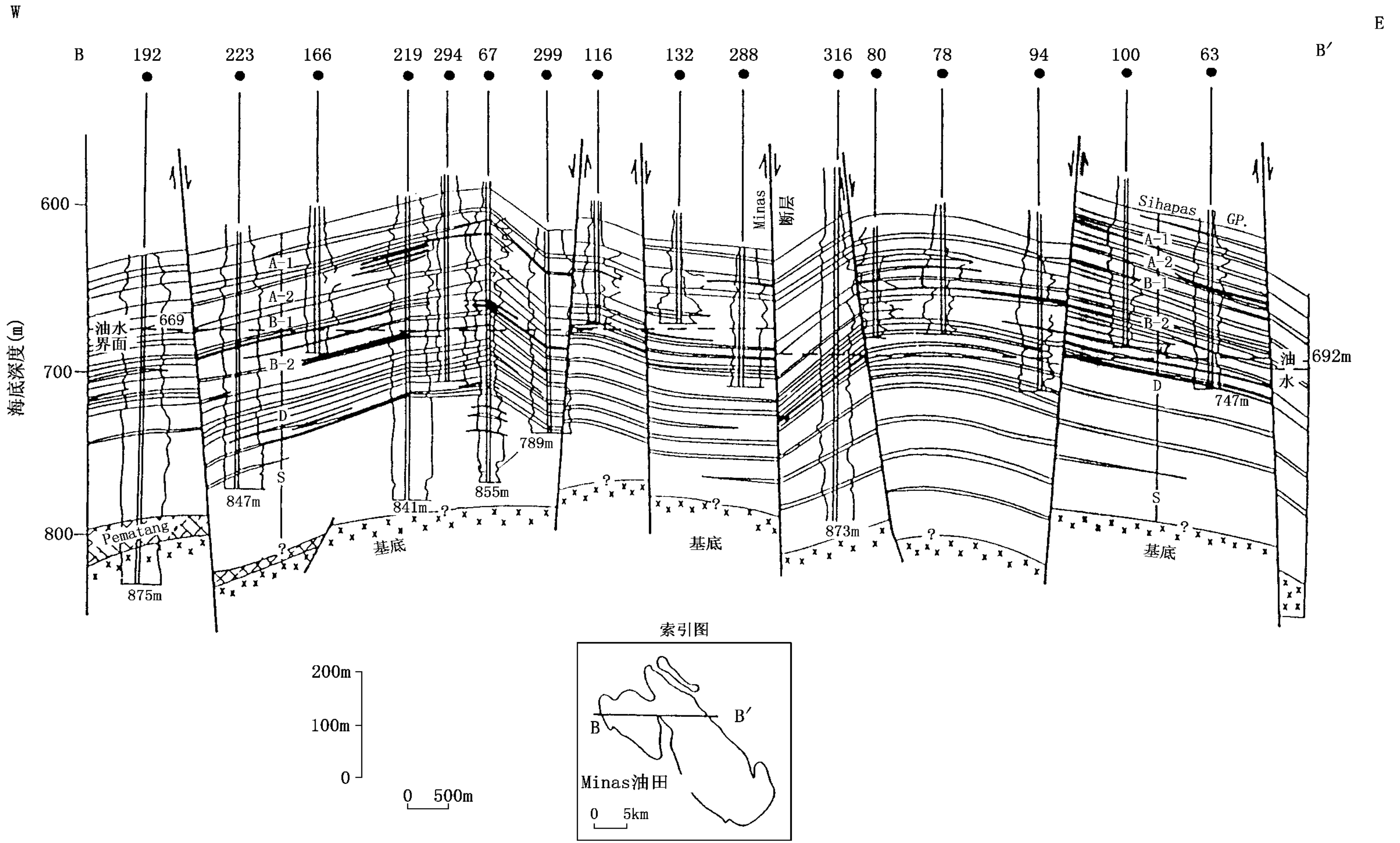


图 2—10—5 Minas 油田的构造横剖面图（据 Hasan 等，1977 年修改）

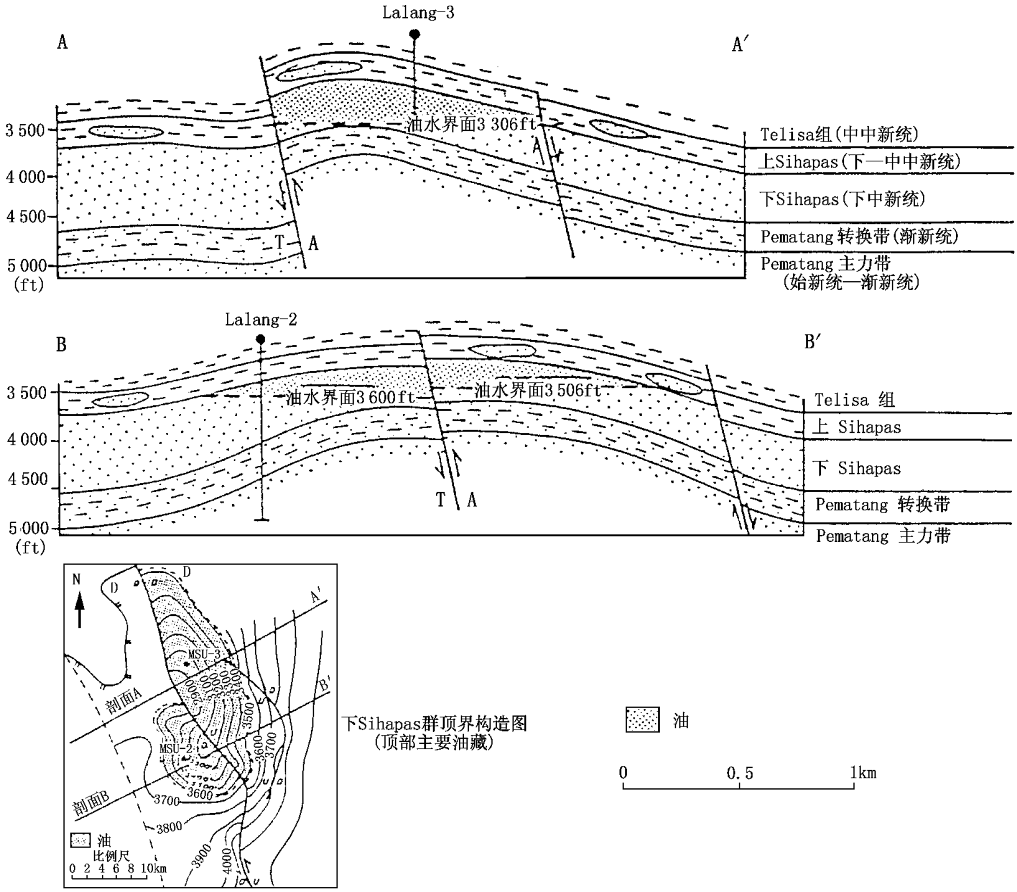


图 2—10—6　Lalang 油田的构造横剖面图（据 Crostella，1981 年修改）

根据上述影响因素，油气生成、圈闭及盖层的形成都比较匹配，只是早期生成的石油逸散了一部分，但估计不会很多。

6. 含油气系统

中苏门答腊盆地只有 1 个含油气系统，下第三系 Pematang 群（尤其是 Brown Shale 组）提供了最有效的烃源岩和油气二次运移输导层，Sihapas 群提供了大多数的储集层和有效的输导层。Telisa 组、Petani 组和 Minas 组提供了区域性盖层和有机质成熟所需的上覆地层，然而有机质成熟并生油的主要原因应归因于该盆地的高热流值和地温梯度。该含油气系统的持续时间是 56.5 Ma（早始新世）至今。

影响中苏门答腊盆地油气分布的因素如下：

（1）烃源岩虽然丰富，但分布并非广泛且不是全盆地都已成熟。

（2）Sihapas 群中储集层普遍发育，砂岩物性很好，储集在其中的油气均能很好地产出，孔、渗从较好到很好，很少或没有次生矿物形成。

（3）该盆地盖层不成问题，好的盖层由 Telisa 组和（或）Petani 组提供，除西北部靠近 Asahan 群岛的粗碎屑岩外，盖层覆盖了整个盆地。

（4）在远东地区中苏门答腊盆地的地温梯度最高，这是烃源岩成熟的主要原因。

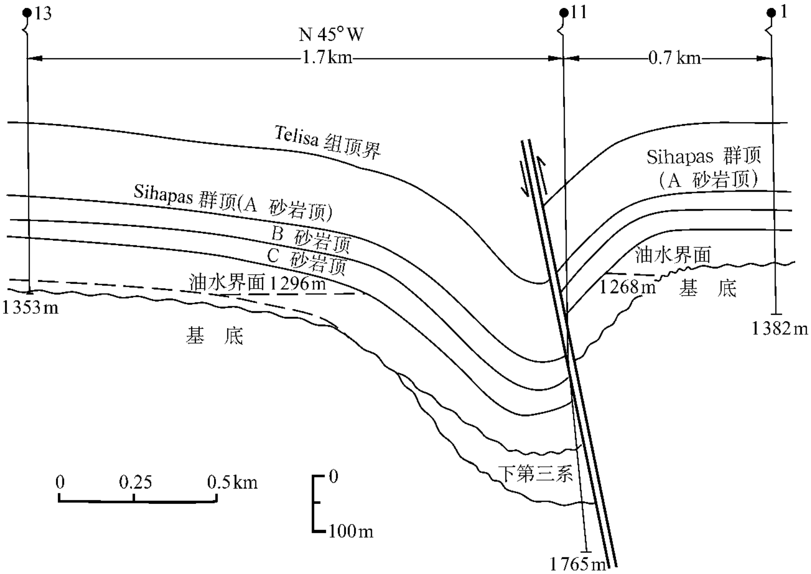


图 2－10－7 Petapahan 油田的构造横剖面图（据 Roezin，1974 年修改）

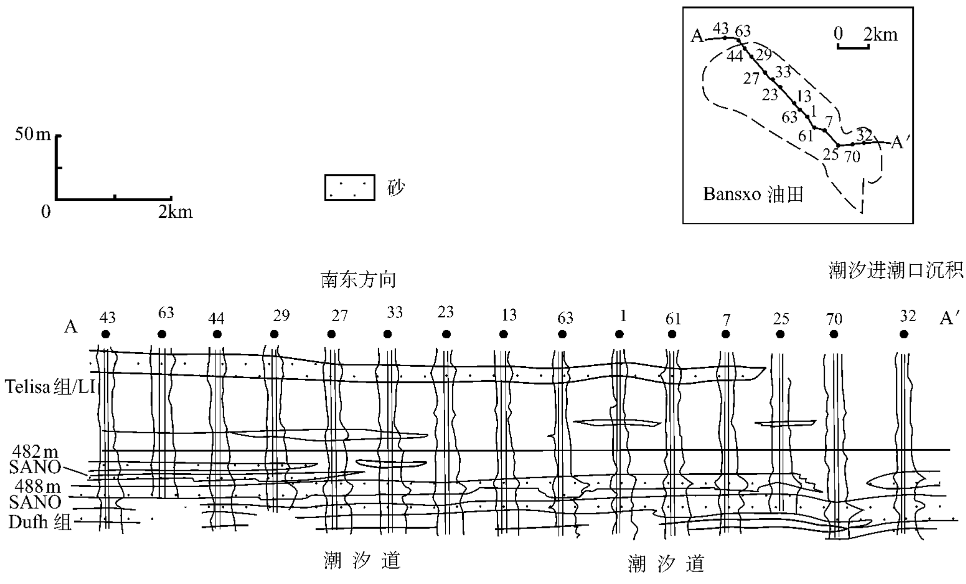


图 2－10－8 Petapahan 油田的地层横剖面图

（据 Untung Suryanto，Wycherley，1986 年修改）

（5）运移通道受北西—南东向构造趋势的控制，侧向运移的距离相对较短（到断陷边缘的距离不超过 15～20 km），三次运移非常重要。

（6）大多数的构造圈闭形成于老第三纪与弧后拉张有关的构造，它们与盆地边缘的地垒和与盆地内部凸起边缘的断块有关。另一些构造圈闭为新第三纪挤压构造期形成，与高角度

逆断层活动有关的狭窄、受扭动影响的背斜是主要的构造。复合圈闭很常见。

7. 油气储量与丰度

根据1991年底对中苏门答腊盆地所有油气田和发现的统计，其最终可采油储量为12 596×10^6 bbl（约18×10^8 t），气20 160×10^8 ft^3（约747×10^8 m^3），凝析油比较少，仅为5.1×10^6 bbl。该盆地的油气丰度见表2—10—3。

表2—10—3　中苏门答腊盆地油气丰度（1991）

类　　型	油和凝析油	气	总　　量
油气丰度	112　065 bbl/km^2	17　930×10^6 bbl/km^2	115 050 bbl（油当量）/km^2

8. 主要油气藏类型

中苏门答腊盆地圈闭主要为构造圈闭，圈闭包括与盆地内部隆起边缘有关的地垒和断块（如Duri和Minas）到狭窄、受扭动影响并受高角度的逆断层切割的背斜构造（如Lalng油田和Petapahan油田）。此外，构造—地层复合型圈闭也比较重要，这类圈闭为由宽缓背斜和砂体横向尖灭构成（如Bangko）以及砂岩上超或尖灭于基底凸起之上（如Kotabatak，MS TA 1）。

9. 油气田分布

在中苏门答腊盆地油气田主要分布于中央坳陷区（图2—10—9）。

10. 大油气田及典型油气田（藏）

中苏门答腊盆地共发现大小油气田172个，但储量集中在少数几个油气田（表2—10—4）。该盆地最终可采油储量为12 596×10^6 bbl，气储量为20 016×10^8 ft^3；而这19个油气田的油、气储量分别为10 872×10^6 bbl和11 300×10^8 ft^3，分别占总可采储量的86.3%和56%。

表2—10—4　中苏门答腊盆地大油气田可采储量

油气田	油储量（10^6 bbl）	凝析油（10^6 bbl）	气（10^8 ft^3）	油气田	油储量（10^6 bbl）	凝析油（10^6 bbl）	气（10^8 ft^3）
Balam Selatan	130			Menggala Utara	110		
Bangko	500		1　200	Minas	4　300		1　500
Bekasap	460			Pager	100		
Beruk	85			Pematang	250		200
Duri	3　900			Petapahan	100		
Jorang	70			Petani	300		200
Kotabatak	175			Sago	122		
Libo			5　000	Talas			1200
Libo Tenggara	110		2　000	Zamruo	100		
Menggala	60			合　计	10　872		11　300

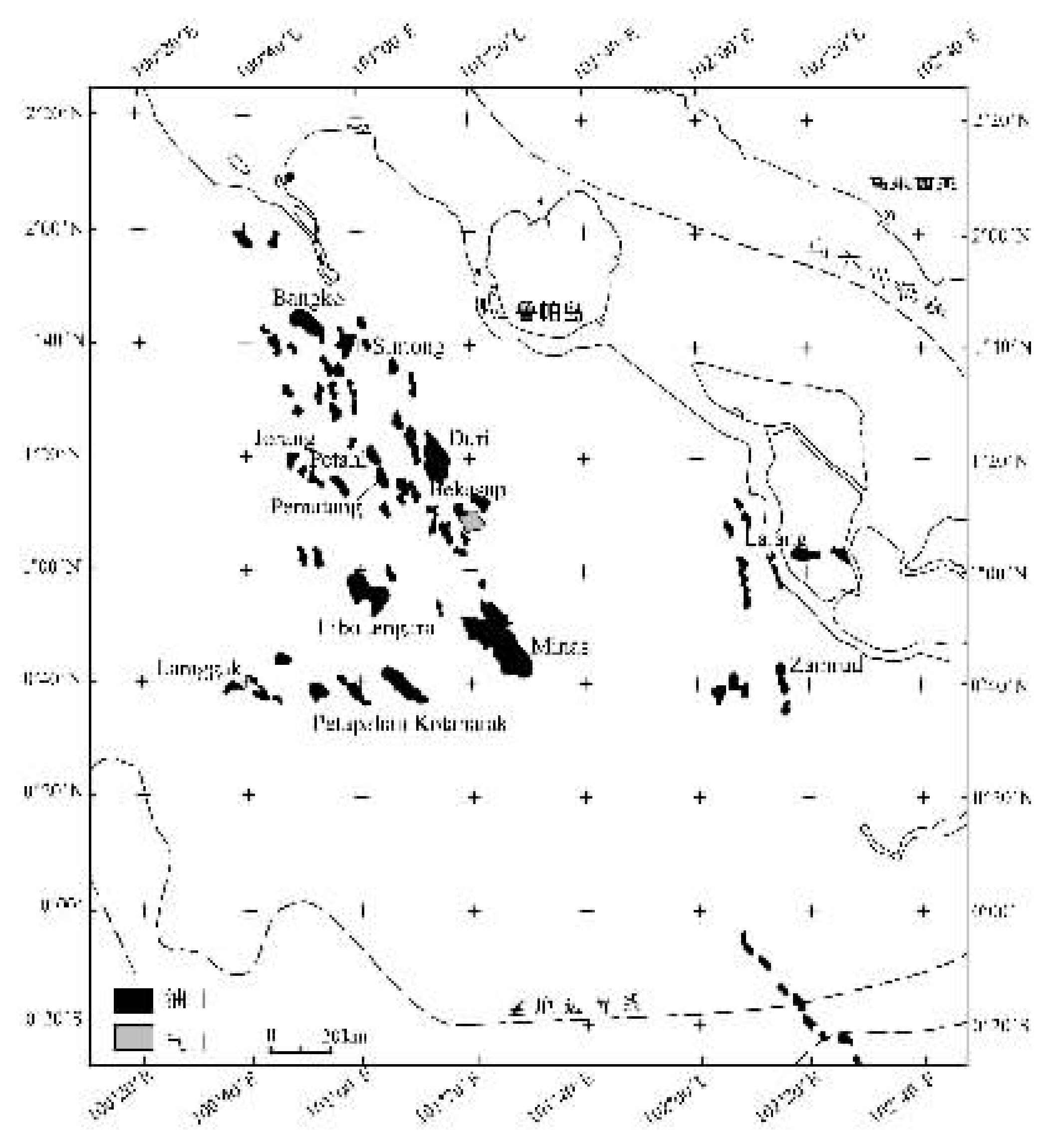


图 2－10－9　**中苏门答腊盆地油田分布图（引自** Petroconsultants，1993）

Minas **油田是该盆地最大的油田，其储集层为** Sihapas **群，而沉积环境从开阔海到三角洲平原至前缘，孔隙度介于** 10%～40%**之间，平均为** 27%**，渗透率平均为** 1　500×10^{-3} μm^2**，最高为** 2　300×10^{-3} μm^2。**河流相砂岩是最好的储集层。盖层除本群的局部盖层外，**Telisa **组和** Petani **组的页岩作为区域性盖层。圈闭为狭窄的背斜构造，主要受扭动作用影响并被高角度逆断层所切割（图** 2－10－5）。**其中的油气主要来源于下面的** Brown Shale **组。**

11. **勘探开发历程及现状**

从钻井密度、开发的油田逐渐减少及发现越来越难说明，中苏门答腊盆地很有前景的陆上部分目前已处于勘探成熟阶段，但滨海部分尚处于勘探早期，一般认为其油气前景有限。

印度尼西亚政府为加强石油勘探所迈出的最重要步伐之一是 20 **世纪** 60 **年代引入了产量**

分成协议模式。自20世纪30年代以来，Caltex公司一直拥有陆上作业权。到1991年底，该公司仍操纵着盆地陆上面积的40%。8个公司分享了陆上剩余的60%。在1991年底，滨海仅有2个开发区，总面积不到该区的50%。中苏门答腊盆地内直到1939年才发现了第一个油田——Lirik油田。陆上现有172个油区，由约470口预探井计算的总储量为：石油17.3×10^8 t；天然气566×10^8 m^3。海上有24口预探井，仅发现了4个小到中型的油区，均由Hudbag公司于1979—1985年期间发现的。最近的钻探是在1986年，美孚公司在此打了2口干井。盆地陆上为广阔的沼泽平原，宽达200 km，从西南到巴里桑山脉的森林斜坡带。由于多为沼泽地带且交通不便，使得勘探成本中等到较高。

五、小结

中苏门答腊盆地是始新世发展起来的一个裂谷盆地，尽管其发展历史较短却含有丰富的油气资源，从上述分析中可以得到以下几点结论：

（1）该盆地的发育分为早始新世至渐新世的早期裂谷演化阶段、早中新世至中中新世的后裂谷热沉降阶段和晚中新世至今的挤压扭动作用阶段。

（2）大地热流值和地温梯度高，这是该盆地有机质快速热成熟并生油的主要因素，而这种高热流、高地温梯度主要缘于地壳的减薄和岩浆侵位。

（3）在盆地演化的后两个阶段都有不同程度的火山活动，为烃源岩的成熟提供了有利条件。

（4）本盆地发育的主要烃源岩为Brown Shale组（Pematang群），而次要烃源岩为Telisa组，它们在平面上的分布不均衡，这可能是造成油气分布不均衡的缘故，尽管上覆地层不厚但该区地温梯度高，烃源岩中的有机质很快成熟并生油。

（5）该盆地的储集层以Sihapas群（Menggala组、Bangko组、Bekasap组和Duri组）砂岩为主，储集了该盆地绝大多数的油气，这些砂岩沉积于开阔海到三角洲平原至前缘环境，孔、渗性都非常好；此外Pematang群和Telisa组的砂岩也是很好的储集层。

（6）Sihapas群、Telisa组和Petani组的页岩为良好盖层，有效地阻止了油气的散失。

（7）该盆地圈闭以构造型（包括地垒、断块、背斜、断背斜等）和构造—地层复合型为主。

（8）油气田主要分布于中央坳陷区，此区烃源岩最为发育。

参考文献

Correa A C. 1981. Preliminary structural interpretation of the Mahato－Mandian Block，Central Sumatra Basin，using side－looking radar，Tenth Indonesian Petroleum Association Annual Convention，197－215

Fahman M，Nur F，Djalal J S，*et al*. 1991. An overview of the Anoa Field development. Twentieth Indonesian Petroleum Association Annual Convention

Heruyono B，Villarroel T. 1989. The Parum Field：an example of a stratigraphic trap in P. T. Stanvac's Central Sumatra Kampar Block. 18th Indonesian Petroleum Association Annual Convention

Hunter W A，Dodman C，Hartantyo T S，*et al*. 1991. Results and applications of geochemical logging，Duri Field，Riau province，Sumatra. 20th Indonesian Petroleum Association Annual Convention

Koning T, Darmono F X. 1984. The geology of the Beruk Northeast Field, Central Sumatra, oil production from pre—Tertiary basement rocks. 13th Indonesian Petroleum Association Annual Convention

Murhantoro E, Wright J. 1989. Experience with surface and downhole vector wavefield recording in Central Sumatra. 18th Indonesian Petroleum Association Annual Convention

Suryanto U, Whycherley W A. 1984. A high resolution seismic stratigraphy study, Central Sumatra Basin. 13th Indonesian Petroleum Association Annual Convention

Thamri M, Prayitno, Siswoyo. 1981. Heat flow study in the oil basinal areas in Indonesia. In: Thamrin, A. Heat flow; ASEAN Council on Petroleum/Committee for Coordination of Joint Prospecting for Mineral Resources Asian Offshore Areas

Peake W T, Sjahroni O. 1986. A review of steamflooding in Duri Field, Central Sumatra. 15th Indonesian Petroleum Association Annual Convention

Hartono H M S, Tjokrosapoetro S. 1986. Geological evolution of the Indonesian Archipelago. Bulletin Geological Society Malaysia, 20, 97—136

Hamdani A H. 1989. Regional structure setting and stratigraphy of the Ombilin Basin. International Symposium on Intermontane Basin: Geology & Resources

Daly M C, Hooper B G D, Smith D C. 1987. Tertiary plate tectonics and basin evolution in Indonesia. 16th Indonesian Petroleum Association Annual Convention

Janks J S, Kelley P A, Williams H H. 1986. Sedimentology and diagenesis of a rift basin lacustrine sandstone, Pematang group, Central Sumatra, Indonesia. Bull. AAPG. 70 (5), 604

第三章　大型裂谷盆地

对全球大型裂谷盆地的调研主要是基于两大特点进行盆地的选择：①盆地面积一般大于 $10\times10^4km^2$；②盆地中具有已发现并进行了一定开发的深层大型油气田。本书共选择了12个裂谷盆地，它们是：英荷、马拉开波、加蓬海岸、尼日尔三角洲、奥特尼瓜、索马里、桑托斯、下刚果、西南非洲海岸、锡尔特、红海裂谷和东非裂谷。

第一节　英荷盆地

英荷（Anglo—Dutch）盆地位于欧洲西部，总面积为 119 609 km^2，其中77%位于海上。盆地走向为北西—南东向，长610 km，西北部宽310 km，向东南部变窄，为120 km。盆地主要部分属英国（占59%）和荷兰（占39%），比利时和德国仅占少量面积。盆地陆上部分占23%，其中英国占57%，荷兰占35%，比利时占2%，德国占6%。

盆地北端以北海中部隆起为界，西部边缘以奔宁隆起为界，南端是伦敦—布拉班特（London Brabant）断块，东部边缘为中央地堑南端和德国西北盆地（图3—1—1）。

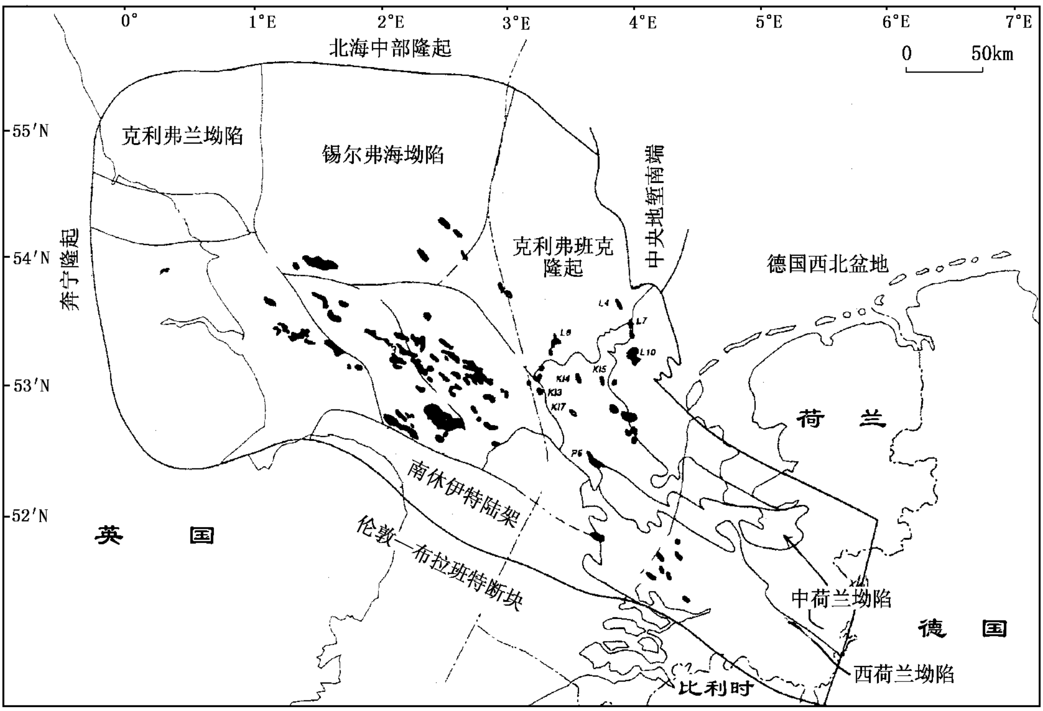


图3—1—1　英荷盆地位置及油气田分布图（引自 Petroconsultants，1996）

一、区域地质

盆地由一系列南北向至北西—南东向的断块和坳陷组成。这些坳陷包括索尔（Sole pit）

海槽、Broad Fourteens 坳陷、西荷兰（West Netherlands）坳陷、中荷兰（Central Netherlands）坳陷、克利弗兰（Cleveland）坳陷及锡尔弗海（Silver pit）坳陷（或次盆地）等。盆地内隆起包括克利弗班克（Cleaver Bank）隆起、因德（Inde）隆起、赞德福隆起、温特顿隆起，泰瑟尔—艾瑟尔（Texel-Ijsselmeer）隆起和 Market Weighton 地块等（图 3—1—1、图 3—1—2）

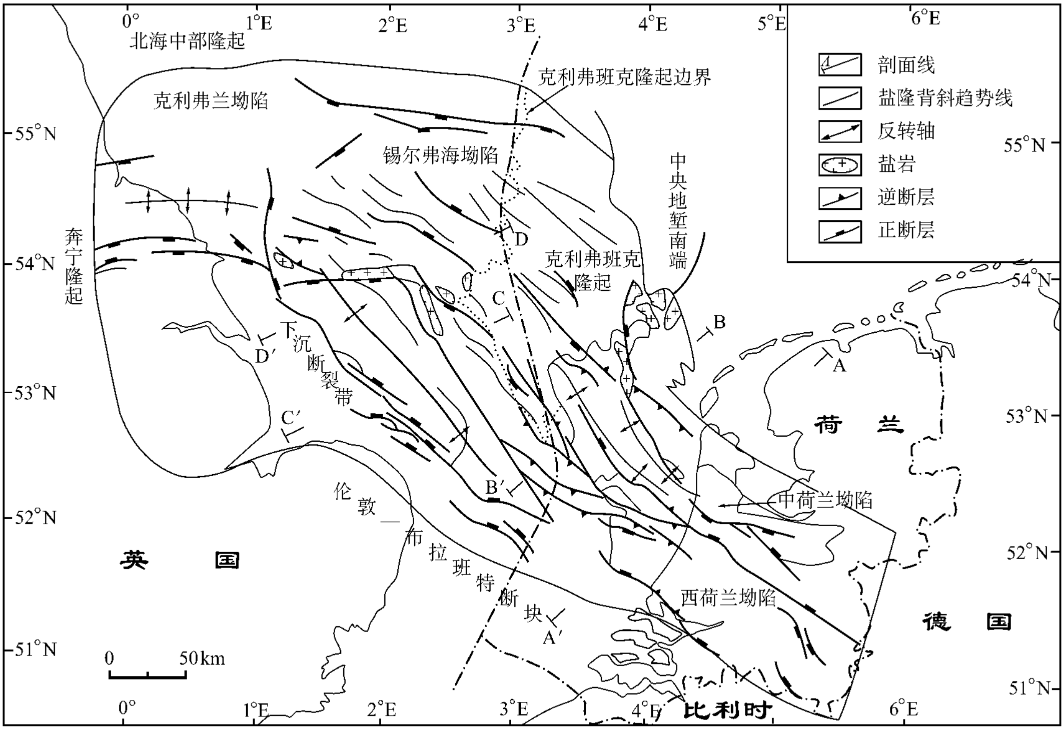


图 3—1—2　英荷盆地构造纲要图（引自 Petroconsultants，1996）

1. **盆地演化**

英荷盆地是一个多旋回衰亡的裂谷盆地体系，可分为 3 个活跃裂谷期（分别始于早石炭世、早二叠世和中侏罗世）、3 个反转期（晚石炭世、晚侏罗世、晚白垩世及早第三纪）及其之后的热沉降期。

该盆地发育在下古生界变质沉积岩和花岗岩之上，在活动的半地堑中沉积了下石炭统浅海相地层，随后充填了前三角洲浊积岩沉积。晚石炭世的热沉降阶段伴随着广泛三角洲平原含煤层系的发育，在石炭纪末的海西造山期盆地隆起并发生变形。早二叠世在一个广泛沉降的盆地中以及一些以断层为边界的坳陷中沉积了沙漠沉积，其上被厚层岩盐的蔡希施坦群所覆盖。早三叠世为辫状河平原沉积，其上为厚层晚三叠世泥岩和早侏罗世低能细粒浅海沉积。阿连期（Aalenian，J_{1-2}）和牛津期（J_3）抬升和剥蚀使盆地不同部位受到影响。上侏罗统为冲积和三角洲平原同生裂谷沉积，上覆为早白垩世浅海砂岩和泥岩，再上为沉积于热沉降期的晚白垩世白垩和泥岩。晚侏罗世反转期影响了位于英国的坳陷。晚白垩世和早第三纪发生了一次主反转期，之后又回到热沉降期，沉积了 2 500 m 浅海相和陆棚碎屑岩。从中三叠世至今都发育有盐丘构造。

1）前裂谷基底形成阶段

基底由细粒下古生界变质沉积岩、火山碎屑岩和花岗岩类组成（推断为上志留统到下泥盆统），其上不整合着泥盆系冲积沉积。

泥盆系沉积物可能沉积于“古老红色砂岩大陆”南部边缘上的扭张盆地中，其主要局限于盆地东北部，邻近北海中部可能厚达 1 000 m，在盆地其他地方，由于晚石炭世的变形、抬升和剥蚀，只有零星分布。这些沉积可能是晚泥盆世的，由细到粗（局部含砾石）砂岩和含云母泥岩互层组成。盆地东部才有海相沉积，包括碳酸盐岩。

2）同生裂谷早期：热沉降和挤压阶段——早石炭世到早二叠世（360—275 *Ma*）

克拉通内裂谷开始于早石炭世。早石炭世至晚石炭世早期（360—320 Ma）为拉张期，晚石炭世早期至中期（320—300 Ma）为热沉降阶段，晚石炭世中期至早白垩世中期（300—？275 Ma）为挤压变形阶段。

早石炭世的拉张为南北向，使“古老红色砂岩大陆”断裂，发育了一系列被地垒分隔的地堑和半地堑。晚石炭世早期至中期盆地发生了广泛的区域热沉降。晚石炭世中期抬升和反转伴随着海西变形前缘的沉积和构造自南向北传播。早石炭世伦敦—布拉班特地块就成为稳定的基底隆起，并一直延续到中白垩世。

从晚石炭世中期向上，沉积作用日益受海西变形前缘向北迁移的影响。区域性抬升使得排泄差的三角洲平原相被跨时代的排泄较好的、变红的冲积平原沉积所替代。

晚石炭世和早二叠世伴随准平原化的差异抬升作用致使在英荷盆地某些地方上石炭统沉积物被剥蚀掉 1 500 m 以上。伴随南北向挤压作用导致在荷兰海上和陆上发育了北西—南东向的褶皱和断层，在英国陆上发育了东西向的构造，其走向可能与加里东基底的走向一致。

3）次裂谷和热沉降阶段：早二叠世至早侏罗世晚期（？275—178 *Ma*）

伴随拉张的克拉通内次裂谷开始于早二叠世（晚赤底世（Rothliegendes）中至早期？276—？265 Ma），晚赤底世早期至晚托阿尔期（Toarcian）（？265—178 Ma）为热沉降期，伴随有小规模断裂。

在早二叠世海西造山运动广泛的塌陷之后，在早二叠世、晚三叠世和早侏罗世期间，英荷盆地许多地区遭受了缓慢的区域性沉降作用，而在大断层附近遭受了较强的沉降作用（如索尔海槽、锡尔弗海坳陷、Broad Fourteens 坳陷和西荷兰坳陷）。这一“南部二叠纪盆地”南部以伦敦—布拉班特地块为界，西部以奔宁隆起为界，北部以北海隆起中部为界，向东延伸到波兰。确切的沉降产生机理尚不清楚，然而，北西—南东向的活动断层（如 Dowsing 断裂带）发生了北东—南西（东西向）的地壳拉张或扭张。拉张作用可能与海西造山运动的后期塌陷有关，但盆地随时间逐渐扩大并伴随宽缓的区域性沉降表明热沉降是主控因素。

盆地部分沉积厚度的持续增加表明断裂活动一直持续到早侏罗世晚期。三叠纪期间影响中央地堑东西向拉张机制，使得活动断裂与北西—南东向的线性构造拉张活动不变。这些构造运动也导致中—晚三叠世在盆地较深部位发生了第一期蔡希施坦群盐类构造运动。

4）穹状隆起、主裂谷和扭压阶段：早侏罗世晚期到晚侏罗世晚期（178—150 *Ma*）

穹状隆起发生于阿连期（178—175 Ma）；克拉通内裂谷发生于阿连期晚期到牛津期（175—155 Ma）；拉张作用发生于牛津期到提通期（155—150 Ma）。

由于伴随以北海三联点为中心的热穹窿的抬升作用，中侏罗世北海地区北部和中部发生了广泛的剥蚀作用。在英荷盆地北部的阿连阶内部存在一个不整合，其向南在荷兰部分（即远离隆起中部）变为 1 200 m 厚的整合层序。

索尔海槽、Broad Fourteens 坳陷和西荷兰坳陷（包括 Roer 地堑）在晚侏罗世经历了广泛的以断层控制为主的沉降，沉积厚度达 2 500 m。在索尔海槽表现为从中侏罗世起的连续沉积。相反，在 Broad Fouteens 坳陷和西荷兰坳陷，沉积作用在回到同生裂谷沉积作用之前的牛津期（可能与扭压作用有关）被一期抬升和剥蚀作用（中启莫里不整合）所中断。

侏罗纪末至白垩纪初，英国部分的诸盆地和盆内隆起经历了与扭压构造作用有关的一次大的抬升和剥蚀。这导致了被称为晚启莫里不整合的一次广泛剥蚀面。在克利弗班克隆起剥蚀掉 1 000～2 000 m 的侏罗系和三叠系地层。索尔海槽南部被剥蚀掉数百米沉积。相反，在邻近的东部内陆陆架沉积作用是连续的；在荷兰部分该期只有少量剥蚀作用。日益活动的构造和不稳定性触发了英荷盆地南部和西部含盐地区广泛的底辟刺穿作用。

5）热沉降早期和反转阶段：侏罗纪末到第三纪初（150—61 *Ma*）

热沉降为提通期至麦斯特里希特期（150—67 Ma）；反转为麦斯特里希特期至丹麦期（67—61 Ma）。

在晚启莫里期抬升剥蚀之后，早白垩世沉积岩不整合沉积于老地层之上。在构造高点上不整合发育良好，在盆地中央对应为假整合。早白垩世低部位的局部不整合表明有偶尔继续的断层（盐？）活动。早白垩世地层相对均一，在西荷兰坳陷的西部和中部平均厚 200 m。这表明受断层控制并可能有小裂陷活动。晚白垩世沉积也相对均一，典型厚度为 400～500 m，在中、西荷兰坳陷局部沉降较大，厚度达 1 200～1 600 m。沿索尔海槽（1 000 m）西缘，在地震剖面上可看到上白垩统超覆在倒转的下白垩统之上。索尔海槽的反射以及东内陆陆架下白垩统被剥蚀掉 200 m，指示有局部扭压变形。

白垩纪末和第三纪早期，欧洲西北部发生了两期主要的盆地反转，它影响了索尔海槽以及克利弗兰、Broad Fourteens 坳陷、中荷兰坳陷及西荷兰坳陷。先前的拉张断层作为逆冲断层重新活动，一些断层位移被富盐地层的塑性变形所吸收。由于以下原因难以定量各盆地中的精确反转量：①上白垩统的剥蚀；②随后第三纪反转的影响。但反转量可能介于 0.5～1.8 km。

6）热沉降晚期和反转阶段：早第三纪至今（61—0 *Ma*）

盆地反转后，盆地又经历了一期热沉降，晚古新世沉积不整合于白垩系之上（在倒转的索尔海槽为下侏罗统）。沉积作用集中于与 Broad Fourteens 坳陷和西荷兰坳陷有关的两大沉降区。沉积厚度从这些地区向西北迅速减薄，在因德隆起和锡尔弗海盆地西面减为零。

受阿尔卑斯造山运动的驱使，主反转期在晚始新世至早渐新世影响了 Broad Fourteens 坳陷、中荷兰坳陷、西荷兰坳陷，在渐新世到中新世影响了索尔海槽。基底断层被重新活化并带有右旋走滑的性质，从而又激发了另一期盐类构造活动。北纬 54°以北的大部盆地盐隆和盐枕产生于第三纪中期，这期间盆地西部被剥蚀掉 200～400 m。

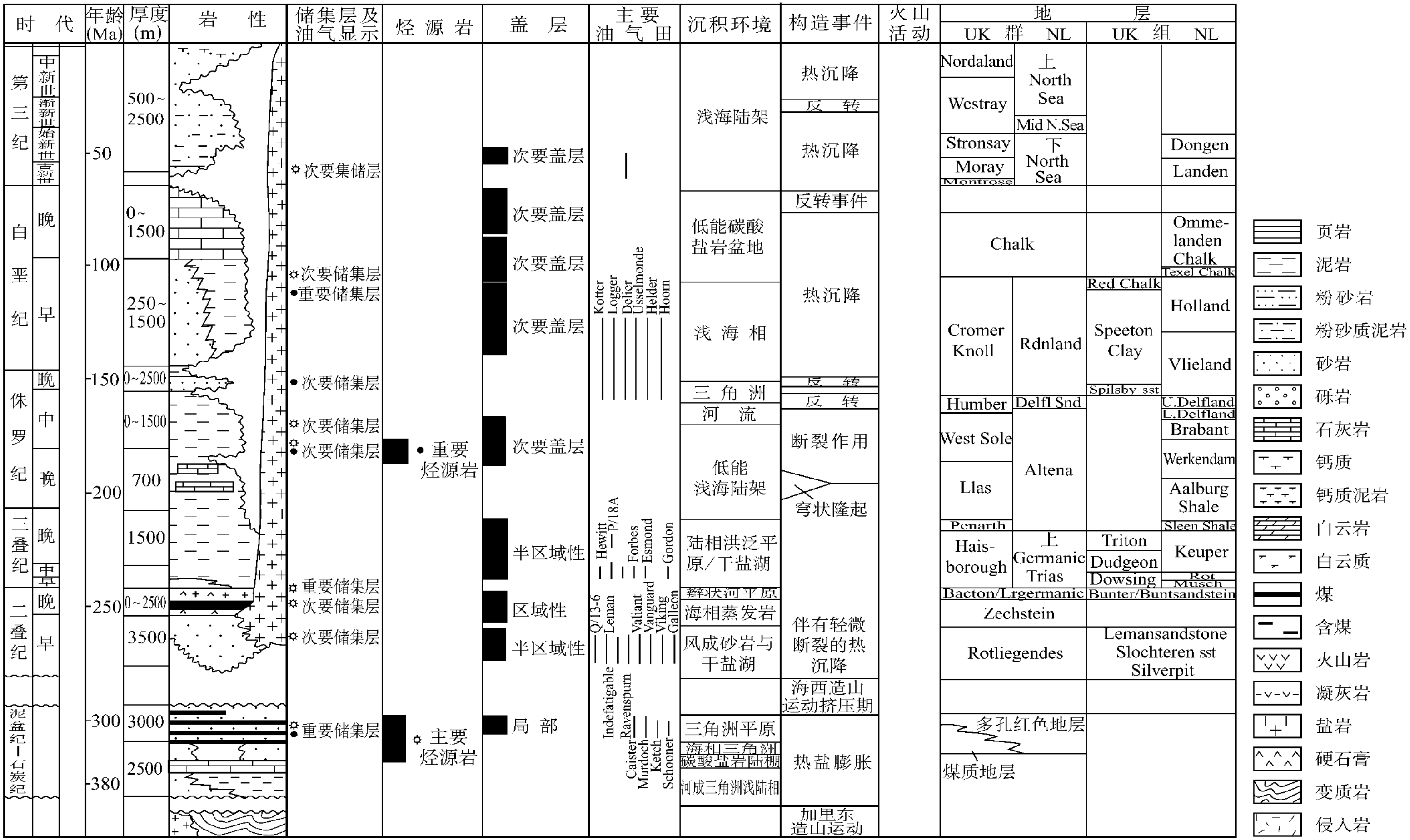
2. 地层简介

裂谷基底由细粒下古生界变质沉积岩、火山碎屑岩和花岗岩类组成（推断为上志留统到下泥盆统），其上不整合覆盖泥盆系冲积层。石炭系至第三系为裂谷盆地沉积（表 3—1—1）。

1）石炭系

（1）下石炭统：泥盆纪陆块超覆之后，在地堑/半地堑中泥盆系（有沉积的地方）沉积了厚达 2 500 m（？）的浅海到深海相泥岩、石灰岩和砂岩。在盆内隆起（地垒和花岗岩地块）上有剥蚀迹象或被不彻底的或凝缩剖面所覆盖。盆地相泥岩、浊积岩和三角洲前缘充填

表 3—1—1　**英荷盆地综合地层（引自 Petroconsultants，1996）**



了盆地的大部分，沉积物主要通过一系列西进三角洲和南进三角洲所提供。盆地南部和西部（伦敦—布拉班特地块和东内陆架）缓慢沉降，沉积了厚达 1 km 的浅海相泥岩。

（2）上石炭统：厚达 3 000 m。从晚石炭世（纳缪尔中期）早期开始，沉积作用发生于区域热沉降期，因此，地层比下伏同生裂谷期狄南阶均一而广泛。贯穿盆地发育了一系列跨时代的叠加的、物源来自北部和东部的三角洲。向上变为厚层以泥岩为主的含煤层系（煤系地层），偶尔有横向延伸的河道砂体。这些沉积物沉积于广泛的上三角洲平原。

2）二叠系

（1）下二叠统：晚赤底世中至早期，在准平原化的、断裂和褶皱的石炭系上不整合（Saalian 不整合）沉积了 340 m 的荒漠沉积物（Leman 砂岩/Slochteren 和锡尔弗海组）。在盆地南翼和西翼附近沉积作用以短暂的河流沉积为主。向北变为风成沙丘和砂席沉积，再向北渐变为萨巴哈、湖相和蒸发岩沉积，它们形成了盆地的北部边缘。

（2）上二叠统：晚二叠世下部的赤底群，盆地发生了迅速的自北而南的海侵，导致蔡希施坦群沉积整合覆盖于赤底群及盆地边缘其他前二叠统之上。蔡希施坦群沉积厚达 1 000 m，沉积后的盐类其厚度从零变到 2 500 m。该统由蒸发岩（白云岩、盐岩和硬石膏）和富有机质沥青质泥岩组成，分别沉积于潮内和潮上萨巴哈和边缘海环境，共分为 5 个旋回（Z_1 到 Z_5）。理想的旋回由底部碎屑单元、随后的碳酸盐岩、硬石膏和盐岩组成，反应了在一个大范围封闭的盆地中海侵之后，蒸发作用使盐度逐渐增加。盐岩沉积主要限于英荷盆地中部和北部（北纬 53°20′以北），在盆地边缘，特别是在西荷兰坳陷和 Broad Fourteens 坳陷，沉积了边缘陆相碎屑。

3）三叠系

底部可见到从蔡希施坦群边缘海蒸发岩到陆相的突然转变。三叠系厚达 1 500 m，大都以红色泥岩偶夹砂岩（Bunter 砂岩）和蒸发岩为主。

4）侏罗系

（1）下侏罗统：整合于三叠系之上，厚达 700 m，以海相泥岩为主，其次为石灰岩，沉积于宁静的低能陆棚环境。在荷兰部分的各坳陷中沉积了富含有机质的泥岩。

（2）中侏罗统：由低能的陆架环境沉积变为河流相、滨海平原和浅海相碎屑岩和碳酸盐岩，沉积体受海面升降和构造变动的强烈影响。

（3）上侏罗统：在索尔海槽、Broad Fourteens 坳陷和西荷兰坳陷（包括 Roer 地堑）厚度达 2 500 m。

5）白垩系

（1）下白垩统：沉积相对均一，平均厚 20 m，沉积中心分布于西荷兰坳陷和中荷兰坳陷。早白垩世沉积作用，在盆地东南部边缘最初是海陆交互相。该地区贯穿早白垩世的持续向东南方向的海侵，致使形成了一系列后退的浅海相砂岩。盆地其他边缘是浅海砂岩和泥岩，横向变为陆架泥岩和石灰岩。阿普第期至阿尔布期海平面上升导致周围陆块海侵，碎屑供应减少，在盆地范围发育了广泛的白垩海，并持续到晚白垩世的大部分时间。

（2）上白垩统：沉积厚度为 400～500 m，相对均一，中荷兰坳陷和西荷兰坳陷局部厚达 1 200～1 600 m，索尔海槽厚度为 1 000 m。

6）第三系—第四系

沉积作用集中于 Broad Fourteens 坳陷和西荷兰坳陷，厚 2 600 m，向西北迅速减薄，在因德隆起和锡尔弗海盆西面消失。沉积物主要由海相泥岩、粉砂岩和砂岩组成，其分布受

海平面波动的强烈影响。盆地边缘为浅海相砂岩，横向变为陆架泥岩和粉砂岩。古莱茵河以三角洲为代表的厚层沉积存在于荷兰部分，特别是第三系和第四系上部。

二、含油气性

1. 烃源岩

上石炭统煤系地层的煤和伴生的碳质泥岩被认为是英荷盆地所有气藏的烃源岩。而荷兰部分的油可能源自下侏罗统的海相泥岩。

上石炭统煤含气，其腐殖型干酪根的 *TOC* 达 70%，除了在锡尔弗海地区因后海西剥蚀作用剥蚀掉了上石炭统剖面外，上石炭统在英荷盆地广泛分布。煤层主要局限于威斯特伐利亚阶 A 段和 B 段，代表了在热带赤道气候的三角洲平原环境中厚层泥炭的堆积。

海西造山运动伴随的埋藏和变形没有影响上石炭统的生气潜力。石炭系煤的生气窗介于 4 000～6 000m 之间。由于埋深和英荷盆地的反转史，各个坳陷的成熟时间不同，在索尔海槽石炭系顶至上白垩统埋深为 4 000 m。海槽内镜质组反射率 1%～2.8%，但在翼部小于 1%。气的生成和运移发生于（三叠纪？）侏罗纪和白垩纪，随后在反转期导致气的再运移。在连续沉降的地区，如锡尔弗海坳陷，气的生成始于中白垩世并持续至今，尽管煤仍未达到 R_o 为 1.2%的生气高峰（R_o 为 1%）。总体来说，在英荷盆地，气的生成发生于晚白垩世的反转之前，并在晚第三纪重新开始。在 Broad Fourteens 坳陷，气的生成始于早侏罗世并延续至今，反转盆地轴部中央的镜质组反射率已达 2.4%。有人根据成岩伊利石 K/Ar 定年技术确定 Broad Fourteens 坳陷气的生成发生于早白垩世。

托阿尔阶（J_1）—巴柔阶（J_2）Werkendam 页岩组（海浪哈页岩段）的海相富有机质页岩是 Boad Fourteens 坳陷、西荷兰坳陷和中荷兰坳陷的主要油源岩。主要产石蜡油，比重为 37°～43°API。烃源岩的 *TOC* 约为 2%～12%。据估计，该海浪哈页岩在 2 500～3 000 m 进入生油窗。该区的构造史和各坳陷的排油时间是不同的。在西荷兰坳陷北部运移发生于早白垩世晚期到晚白垩世，在早第三纪反转期停止。不同的是，该盆地南部反转作用较弱，排烃作用开始于有限的前第三纪埋藏和小规模的第三纪反转之后。现在西荷兰坳陷海浪哈页岩处于生气窗中，在 Broad Fourteens 坳陷，排烃作用发生于中—晚白垩世。

晚三叠世至早侏罗世瑞替期（J_3）海侵形成的海相 Sleen 页岩不可能成为主要的油源岩，但在荷兰部分局部有重要作用。

纳缪尔阶（C_1）/威斯特伐利亚阶（C_2）海相泥岩 *TOC* 为 2%～5%，分散有机质的类脂组/壳质组质量达 17%。它们可能是英国陆上石炭系油田的主要烃源岩。上石炭统海相泥岩代表了洪泛面，主要存在于纳缪尔阶剖面。这些泥岩的分布与石炭系煤的分布很类似，R_o 值略高于煤，因为它们在煤层以下 200～600 m，成熟史也类似于煤。

西荷兰坳陷一些油含蜡高（7%～16%），表明烃源岩为含陆生植物碎屑的非海相烃源岩。其可能烃源岩被认为是上侏罗统 Delfland 群的海陆交互相泥岩。根据成分，该泥岩被认为在第三纪就进入了 2 200 m 下的生油窗。有人认为 Delfland 群的煤是中荷兰坳陷下白垩统储集层的烃源岩，但英荷盆地许多地方中、上侏罗统上部烃源岩未成熟。

2. 储集层

英荷盆地存在三套主要储集层：①赤底群风成和河流砂岩：Leman 砂岩和 Slochteren 组。②三叠系河流砂岩：Bunter 砂岩（英国）、Main Bundsandstein 和 Rot 组（荷兰）。③上石炭统河流砂岩体：纳缪尔阶、威斯特伐利亚阶 A 和 B 段，煤系地层，Barren Red 层。

其他重要但分布局限的油气储集层包括：上二叠统（蔡希施坦群）海相碳酸盐岩；侏罗

系和白垩系 Altena、Delfland 和 Rijnland 群海相和边缘海相砂岩；下第三系三角洲砂岩。

1）下二叠统储集层

下二叠统上赤底群砂岩形成了英荷盆地（在英国为 Leman 砂岩：在荷兰为 Slochteren 组）的主要储集层。最好的储集层段由中等到良好分选的细—中粒（局部粗粒）风成沙丘和砂席沉积组成。最好的储集层在英国位于第 47、48、53 区块以及第 49 区块的南部，在荷兰位于 K、L 和 M 区块的南部以及 P 区块、Q 区块的北部。冲积扇和偶尔的河流沉积也形成了一些储集层，但比风成砂岩孔、渗低，平均孔隙度为 12%，最高达 26%。

2）三叠系储集层

下三叠统存在 2 个储集层段。下面的储集层段最厚 60 m，由分选差的细—中粒石英砂岩组成。该储集层段局限于 Ango—Brabant 地块北边缘。下三叠统的主要储集层是英国的 Bunter 砂岩和荷兰的 Main Bundsandstein 砂岩，由分选差的细—粗粒砂岩组成。Bunter 砂岩在南面厚 150 m，向北朝中部北海隆起减薄，但在整个盆地都有发育。在荷兰上覆赤底群中的砂岩也是潜存的储集层。

3）上石炭统储集层

上石炭统河流相砂岩储集层分布在英荷盆地东北部的许多地区。它们由细至粗粒（局部含砾石）的低弯度河道充填沉积物组成。纳缪尔阶储集层发育于三角洲旋回的河流部分。在威斯特伐利亚阶 A 段和 B 段（煤系地层或 Conybeare 群）河流相砂岩沉积于上三角洲平原环境，与沉积于湿热气候的广泛分布的煤互层。不同的是，威斯特伐利亚 C/D 段河流相砂岩（Bassen Red 层）沉积于较干燥气候的冲积平原环境。这些储集层为低弯度河道沉积，因此横向扩展较大。

4）上二叠统（蔡希施坦群）储集层

上二叠统储集层总的来说较次要，但在某些油气田是局部重要的次生储集层。储集层发育于蔡希施坦旋回高能的浅海相富碳酸盐岩部分（如 Hanptdolomit 和 Plattendolomit）。储集层分布强烈依赖于沉积相，因此局限于盆地边缘的陆架和斜坡环境沉积的碳酸盐滩。

5）中下侏罗统 *Altena* 群、上侏罗统 *Delfland* 群和下白垩统 *Rijnland* 群储集层

这些地层在英荷盆地的荷兰部分都含有重要的油气储集层，特别是在 Broad Fourteens 坳陷、中荷兰坳陷和西荷兰坳陷。Altena 群由 Werkendam 页岩和 Brabant 组的浅海相砂岩与砂屑灰岩组成，其储集层局限于 2 个油气田。上侏罗统到下白垩统储集层沉积于全面海侵期，存在于 33 个油气田和发现中。Delfland 群砂岩沉积于三角洲平原环境的分流河道中。Rijnland 群下白垩统储集层由沉积于波浪控制的障壁坝环境的浅海相砂岩组成，与三角洲沉积互层。储集层分布强烈受白垩纪全面海侵期的相对海平面变化的控制。具储集性能的砂岩广泛分布于荷兰盆地下白垩统，最年轻的砂体（Texel Greensand）沉积于晚白垩世初。在荷兰陆上部分，下北海群 Dongen 组始新统浅海相砂岩形成了一个有商业价值的气田。各地层分布中已发现的油气储量见表 3－1－2。

3. 盖层

英荷盆地的主要盖层有：

（1）上石炭统泥岩是上石炭统储集层的局部组内盖层。

（2）二叠系（赤底群）锡尔弗海组蒸发岩是锡尔弗海坳陷上石炭统的半区域性（或地区性）盖层。

表 3-1-2 英荷盆地已发现储量地层的分布

储 集 层	油 (10^6bbl)	凝析油 (10^6bbl)	气 ($10^9 ft^3$)
古近系（下北海群）	0	0	20
上侏罗统至下白垩统（Delfland 和 Rijnland 群）	516.05	1	285.61
中、下侏罗统（Altena 群）	2.5	0	2.67
三叠系（Bunter 和 Main Bundsandstein 组）	10.1	36.04	7 570.48
上二叠统（蔡希施坦群）(Zechstein)	1.5	5.11	817.69
下二叠统（赤底群）(Rotliegendes)	0	180.18	57 655.85
上石炭统	60.38	5.95	4 601.63
其他（未定）	2	0	180
总计	592.55	229.28	71 133.91

（3）二叠系（蔡希施坦群）蒸发岩和碳酸盐岩是赤底群储集层的区域性盖层，是蔡希施坦群碳酸盐岩储集层的组内盖层。

（4）三叠系（Haisborough/上德意志 Trias 群）泥岩是三叠系储集层的半区域性盖层。

（5）中下侏罗统（Altena 群）泥岩是中侏罗统砂岩储集层的局部组内盖层和三叠系砂岩储集层的局部盖层。

（6）上侏罗统至下白垩统（Delfland 和 Rijnland 群）泥岩是上侏罗统和下白垩统储集层的局部组内盖层。

（7）下白垩统（Cromer Knoll 群）泥岩和泥灰岩是三叠系储集层的局部盖层。

（8）上白垩统（白垩群）的白垩、泥岩和石灰岩是上白垩统储集层的局部盖层。

（9）古近系（下北海群）泥岩是古近系储集层的局部组内盖层。

4. 油气生成与运移

英荷盆地的主要气源岩是上石炭统的煤。二次运移开始于晚三叠世（?）到中白垩世，时间的差别是由于不同坳陷有不同的沉降速率。在较深的坳陷（如索尔海槽）生气高峰发生于晚白垩世，而在较浅的坳陷（如锡尔弗海坳陷）中煤还未达到生气高峰的成熟度。晚白垩世和古近纪的盆地反转对生气有重要影响。尽管在经历了大规模反转的地区生烃作用停止，但是邻近主反转轴的地区生气作用常不受影响。

石炭系气藏由互层的煤系地层提供气源。赤底群气藏的气垂向运移距离不大，因为它们是不整合在石炭系之上，并常通过断层与石炭系直接连通。运移可能通过断层和裂隙进行，并沿倾斜地层向上进入互层的河道砂体。由于存在广泛分布的蔡希施坦蒸发岩，充注于三叠系储集层的石炭系气，只有在由于盐的排水使盐盖层形成一个裂口的地方，在没有盐类沉积的盆地边缘或在晚白垩世和古近纪反转作用使盐盖层产生缺口的地方，才能形成圈闭。盐可能会重新修补缺口，大部分三叠系气藏都是部分充注这一事实支持这种假设。晚白垩世和古近纪反转作用使一些圈闭破裂，气经过三次运移进入新形成的圈闭。

荷兰部分主要的油源岩是 Werkendam 页岩组的海浪哈页岩段。据估计，该页岩在早—

晚白垩世进入生油窗，但由于晚白垩世和第三纪的反转作用，局部地区现仍处于生油窗中。在局部地区，新生代埋深只要足够大，在晚新生代就可发生另一期生油作用。油气运移则发生在局部，并通过断层、裂隙和上倾地层运移。

在晚白垩世/古近纪反转期，发生了浅埋油藏（即许多岸上油田）的生物降解和水洗作用。

5. 含油气组合

1）含油气组合类型

英荷盆地的含油气组合由大到小分别为：赤底群组合、三叠系组合、石炭系组合、侏罗/白垩系组合。

（1）赤底群组合。有 214 个气田或发现，估计占该盆地发现的可采油气储量的 77.2%。圈闭大、中、小型都有。该组合已处于勘探成熟阶段，包括了该盆地的大部分大气田。储集层由下二叠统赤底群风成砂岩组成，盖层由上覆蔡希施坦群蒸发岩组成，烃源岩是下伏石炭系的煤。圈闭为构造圈闭，某些圈闭可能早在二叠纪末就已形成，但许多圈闭（特别是在荷兰）直到古近纪反转期后才形成。

估计盆地中 76.7%的凝析油和 81.1%的气存在于赤底群的构造含油气组合中。圈闭由背斜或被倾角或断层封闭的侧倾断块组成，类型丰富多样，包括具有封闭断层与倾角闭合的倾斜断块（如 Valiant North 和 Ravenspurn North）以及具有倾角闭合和微小封闭断层的断背斜（如 Indefatigable，Leman，Ravenspun South 和 Vanguard）（图 3－1－3）。总的来说相尖灭并不重要，但成岩作用是储集层质量的主要控制因素，特别是泥质含量变化（主要是伊利石）强烈影响着储集层孔隙特征。

（2）三叠系组合。三叠系组合由 48 个油气田或发现所代表，估计含有英荷盆地 10.2%的可采储量。圈闭以中、小型为主，但也有大型的（如 Hewett）。构造圈闭（倾斜断块），有时与盐有关（盐隆之上的背斜），可有地层因素。断块圈闭一般是由下盘背斜倾角闭合形成，断层起次要封闭作用。与盐有关的圈闭由四面倾角封闭的背斜组成（有时有断层），发育于蔡希施坦盐隆之上。

储集层的岩相包括细至粗粒砂岩，主要为辫状河道沉积的产物，含有一些近源和远源漫流沉积。砂岩横向尖灭并相变为泛滥平原泥岩。Bunter 砂岩（英）/Main Bundsandstein（荷）形成主要的储集层段，盖层是上覆 Haisborough/上德意志三叠群泥岩。

三叠系构造组合有 44 个油气田或发现，含有全盆地 1.7%的油、14.4%的凝析油和 9.7%的气，即占盆地 9.4%油当量。圈闭包括具有倾角闭合和封闭断层的倾斜断块（如 Papekop 1 和 Waalwijk）以及具有倾角闭合和次要断层封闭的断背斜（如 Hewett 和 Little Dotty）。

三叠系与盐有关的构造组合有 4 个油气田，含有全盆地 1.62%的凝析油和 0.8%的气，即占盆地 0.8%油当量。

（3）石炭系组合。以 82 个油气田发现为代表，估计含有全盆地 6.6%的可采储量。圈闭以小或中型为主。主要为构造圈闭（断背斜和掀斜断块），但可以有地层因素，或其上不整合盖层因素。其上不整合盖层是盆地东北部的下二叠统锡尔弗海组蒸发岩，或盆地其他许多地区的互层泥岩。储集层由叠置的中至粗粒低弯度河道砂岩组成，横向延伸常较大（达几千米）。

石炭系构造组合有 71 个油气田或发现，估计含有全盆地 9.6%的油、4.3%的凝析油和

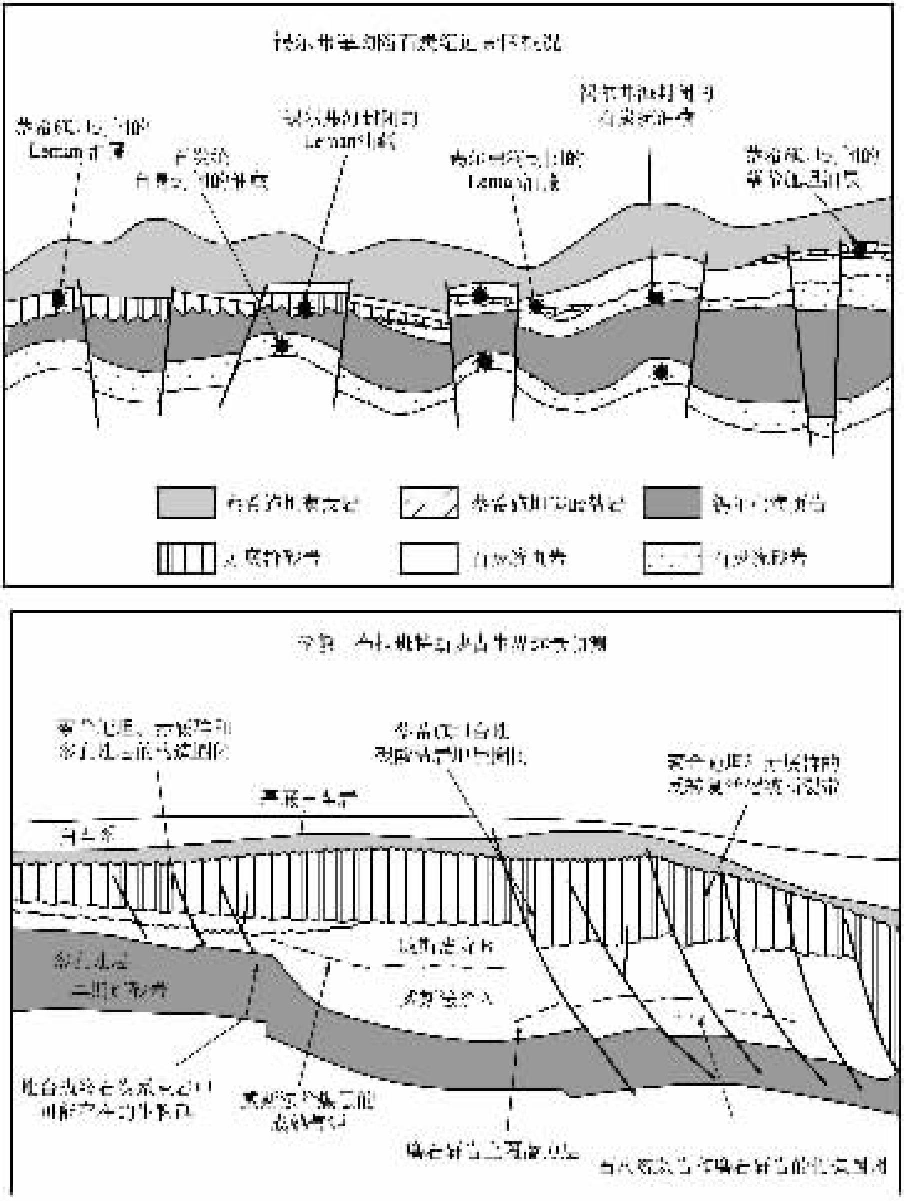


图 3—1—3　**英荷盆地古生界含油气组合剖面图**

（**上图据** Bailey **等**，1993 **年修改**；**下图据** Tubb **等**，1986 **年修改**）

4.3％**的气，即占盆地** 4.6％**油当量。构造—不整合组合有** 6 **个气田或发现，估计含有全盆地** 2.2％**的气，即占盆地** 2％**油当量。构造—地层组合有** 5 **个油田或发现，估计含有全盆地** 0.6％**的油。**

（4）**侏罗—白垩系组合。以** 33 **个气田或发现为代表，估计含有全盆地** 4.4％**的可采储量。圈闭主要为小型，偶尔有中型。以构造圈闭为主，但也可有地层因素。圈闭由断背斜组成。许多圈闭与晚白垩世至古近纪的挤压有关。储集层年代从启莫里期**（J_3）**到西诺曼期**（K_2），**上侏罗统由河流相砂岩组成，而白垩系由一系列后退叠置的浅海相砂体组成。该组**

合包含盆地内的大部分油田，并限于荷兰部分，在那里主要烃源岩（下侏罗统海浪哈页岩）已成熟。大部分圈闭形成于第三纪中期后的反转期。盖层由其组内和上覆上侏罗统至上白垩统的泥岩组成。

侏罗—白垩系构造组合有32个油气田或发现，含有全盆地83.1%的油、0.4%的凝析油和0.2%的气，即占盆地4.1%油当量。地层组合有1个油气田，估计含有全盆地3%的油和0.2%的气，即占盆地0.3%的油当量。

（5）次要组合。次要组合分布在蔡希施坦群（P_2）、侏罗系和第三系，只占盆地可采储量的一小部分（1.3%），通常由许多油气田中的次生油气藏组成。蔡希施坦群构造组合存在于28个油气田或发现中，含有全盆地0.3%的油、2.6%的凝析油和1.2%的气。侏罗系构造组合存在于5个油气田或发现中，含有全盆地1.4%的油和0.2%的气。第三系构造组合存在于1个气田，含有全盆地小于0.1%的气。

2）含油气组合分布

赤底群组合限于英国47、48、53区块和49区块南部，荷兰部分的K、L、M区块、风成沉积发育的地区和Q区块。

三叠系组合主要局限于荷兰部分（P和Q区块以及荷兰陆上）和伦敦—布拉班特地块的北部边缘，含油气组合主要受下伏蔡希施坦群相变化的控制。在盆地边缘附近，蔡希施坦群的富砂特性使石炭系气源岩与下三叠统储集层相通。这与盆地中央不同，在那里蔡希施坦群的富盐特性阻断了这种联系。在盆地中央三叠系储集层发育的地方，需要使蔡希施坦群盖层形成缺口的机制，或者是盐全被溶蚀掉，或者是通过构造活动形成断裂。

石炭系组合分布于英国陆上，为小油田或气田。大的石炭系气田和发现位于石炭系直接被锡尔弗海组封盖性蒸发岩覆盖的盆地东北部（锡尔弗海坳陷）。

侏罗系和白垩系油气藏的分布限于荷兰Broad Fourteens坳陷、西荷兰坳陷和中荷兰坳陷，因为只有在这些盆地主要烃源岩（海浪哈页岩）才达到成熟。

6. 含油气系统

英荷盆地的油气发现主要归因于全盆地的石炭—二叠系含油气系统及Broad Fourteens坳陷、西荷兰坳陷和中荷兰坳陷的中侏罗统含油气系统。

1）石炭—二叠系含油气系统

烃源岩由上石炭统煤（Conybeare群）提供，储集层和输导层由石炭系、二叠系和三叠系提供，盖层由石炭系、上二叠统和三叠系的泥岩提供，它们与中生界和第三系剖面一起提供了所需要的上覆地层（图3—1—4）。

该系统的地层年限从320 Ma左右（烃源岩最早沉积）到现今。

（1）油气生成：三叠纪至今。

（2）圈闭形成：一些石炭系圈闭可能早在早二叠世就已形成，但许多圈闭形成于中生代，并随后被晚白垩世/古近纪的反转作用所改造。

（3）最早封闭：石炭系储集层或者封盖于石炭纪（组成的）或者封盖于早二叠世末。二叠系储集层在二叠纪末被封盖，三叠系储集层在三叠纪末被封盖。

（4）油气保存：位于背斜和倾斜断块圈闭中的石炭系和二叠系油气藏可能从晚二叠世以后就有了保存烃类的能力；但后来的反转对圈闭完整性的影响难以估计。与盐有关的三叠系圈闭形成于晚三叠世，后来在第三纪进一步的盐运动中变形。三叠系构造圈闭可能形成于白垩纪末，后来在挤压构造运动中变形。难以定量估计第三纪的运移量和该系统所损失的烃

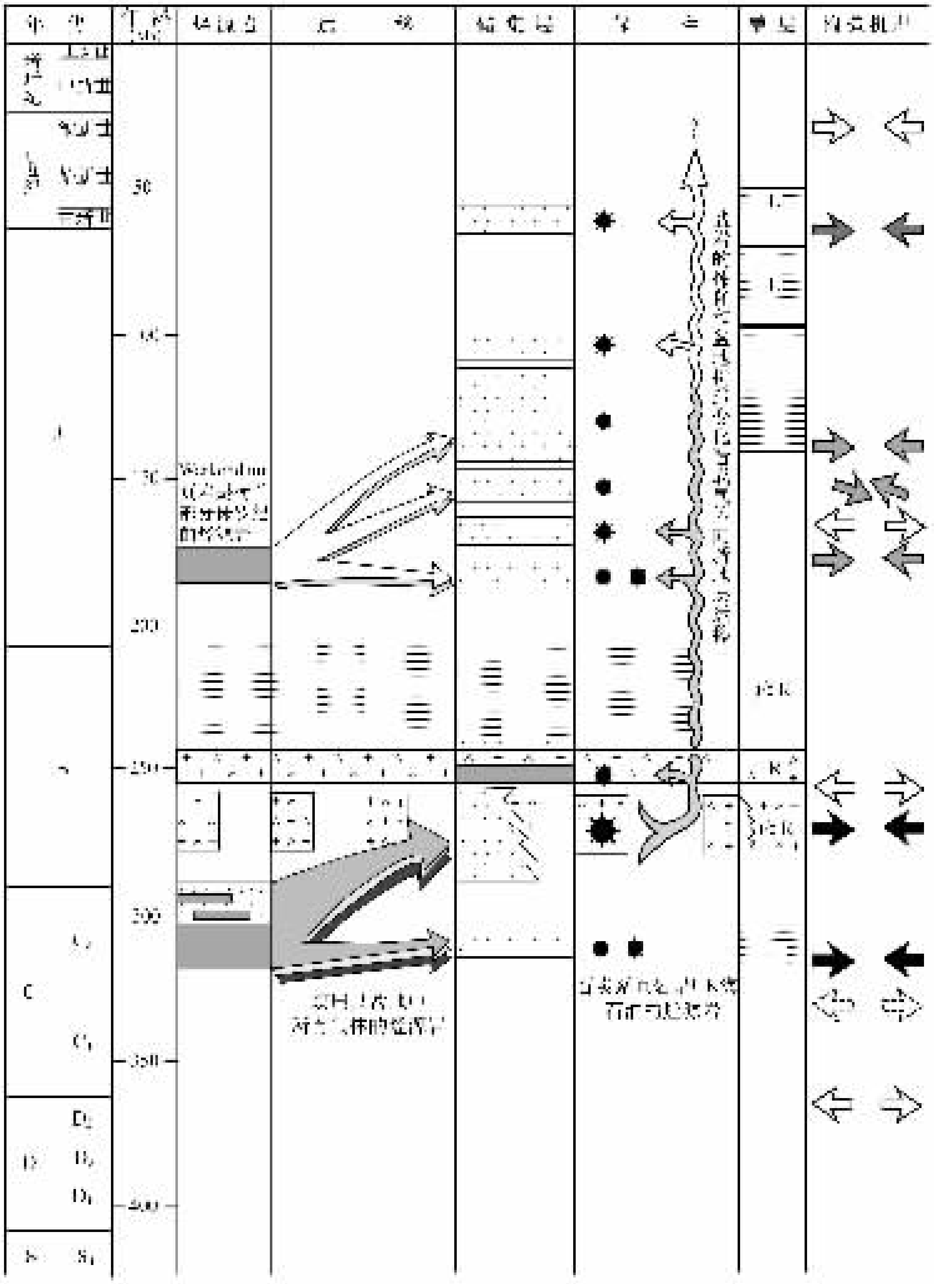


图 3－1－4　英荷盆地含油气系统事件（引自 Petroconsultants，1996）

量，但在经历了反转作用并没有蔡希施坦群盐或三叠系泥岩封盖的地方，损失量可能更大。

2）中侏罗统含油气系统

就生油而言，该系统在 Broad Fourteens 坳陷、西荷兰坳陷和中荷兰坳陷是十分重要的。在这些地区，中侏罗统 Werkendam 页岩组的 Posidohia 页岩段是主要油源岩，储集层是侏罗系和白垩系的河流相和浅海相砂岩与碳酸盐岩，二次运移的输导层是侏罗系和白垩系，盖层是侏罗系和白垩系泥岩。倾斜断块圈闭可能形成于早白垩世。但许多圈闭是形成于晚白垩

世末和古近纪反转运动之后的倒转倾斜断块。该系统的持续时间由于反转运动的影响尚不肯定，但可能始于早白垩世末并延至现今。

下列因素及其相对时间被认为对英荷盆地已发现油气的分布具有最重要的意义：①断裂、褶皱和盐构造运动的时间；②顶盖层的厚度与配置；③反转作用对油气生成、圈闭完整性和三次运移的影响；④横断层封闭的合适性。

三、油气勘探开发现状与效果

1. 勘探开发概况

英荷盆地勘探活动始于20世纪30年代，迄今已完成47.6×10^4km的地震勘探，钻了1 771口勘探井，储量17.37×10^8t油当量。

全盆地共有380个油气田或发现，其中156个正在生产，36个已经枯竭，25个正在开发，2个等待批准开发，64个正在进行评价。

荷兰和英国分别在陆上部分钻开发井104口和95口，成功率较高，生产油气田分别为15个和24个。荷兰钻海上开发井308口，英国钻713口，生产油气田分别为68和49个。

盆地陆上部分已生产石油0.32×10^8t、天然气0.25×10^8t油当量，主要产自荷兰。荷兰还剩余65%的天然气储量，英国陆上部分已生产的天然气很少。荷兰和英国陆上剩余石油储量分别占陆上总储量的27%和37%。

油气产量主要来自海上，海上天然气比陆地多。海上英国部分已生产天然气6.16×10^8t油当量，尚剩余4.79×10^8t油当量；已生产石油0.05×10^8t，剩余0.22×10^8t。海上荷兰部分已产出天然气约2.60×10^8t油当量，剩余2.60×10^8t油当量；已生产石油0.26×10^8t，剩余0.14×10^8t。

到1995年底，全盆地陆上探井进尺为97.2×10^4m，探井总数435口，其中英国250口，荷兰176口，德国9口。荷兰探井25口含油，31口含气；英国探井35口含油，14口含气；德国探井未获发现。典型钻井深度在荷兰为1 000～3 500 m，英国为500～2 000 m。

海上部分探井进尺约为471.14×10^4m，荷兰探井数为356口（14口油井，124口气井），英国探井数为412口（2口油井，157口气井）。典型钻井深度在荷兰为2 500～4 500 m，在英国为1 500～5 000 m。

2. 储量特征及油气丰度

根据1995年的统计，英荷盆地最终可采储量液态烃259×10^6bbl，天然气480.45×10^{12} ft^3，其油气丰度见表3－1－3。

表3－1－3　英荷盆地油气丰度（1995）

类　型	油	凝析油	天然气	总　量
油　气　丰　度	4 954bbl/km^2	1 917bbl/km^2	$594.7\times10^6 ft^3/km^2$	105.991bbl（油当量）/km^2

四、深层油气田（藏）类型、分布及形成机制

1. 主要油气藏类型

该盆地油气藏类型种类多样，但主要以构造和断块为主，其中断块多为断层封闭和倾角闭合而形成的掀斜断块复合体。

英荷盆地深层油气田主要位于海上，以气藏为主，主要分布在索尔海槽、锡尔弗海坳陷

和 Broad Fourteens 坳陷，其中又以索尔海槽为主。油气藏主要位于二叠系和石炭系，可能有少量三叠系。

二叠系为赤底群含油气组合，有 214 个气田或发现（部分是海层），约占盆地油气可采储量的 77.2%。圈闭大、中、小型都有，为构造圈闭。储集层为下二叠统赤底群风成砂岩，烃源岩是下伏石炭系的煤，盖层是上覆蔡希施坦群蒸发岩，圈闭由背斜和倾斜断块组成。

石炭系有 82 个油气田或发现（部分深层），约占盆地可采储量的 6.6%。圈闭以中、小型为主，主要为构造（断背斜和倾斜断块）圈闭。储集层是低弯度河道砂岩，横向延伸较宽，达几千米，烃源岩是石炭系本身的煤，盖层在盆地东北部是下二叠统锡尔弗海组蒸发岩，在盆地其他地方为互层的泥岩。

2. 油气田分布规律

深层赤底群含油气组合主要分布于英国索尔海槽的 47、48、53 区块和 49 区块南部。深层石炭系组合主要分布于索尔海槽和锡尔弗海坳陷（图 3—1—1）。

英荷盆地现已发现 63 个深层油气田，其主要特征见表 3—1—4。

表 3—1—4　英荷盆地深层油气田综合特征

油气田	深度（m）	烃类类型	海陆位置	总可采储量（油当量）（10^6 bbl）	储集层	储集层岩性	含油气组合
Caister	3 545	天然气	海上	53.83	CaisterCoal 组	砂岩	石炭系构造
Murdoch	3 569	天然气	海上	60.90	Conybeare 群	砂岩	石炭系构造
D/12—3	3 750	天然气	海上	25.00	煤系地层	砂岩	石炭系构造
K/02—1	4 200	天然气	海上	50.00	Limburg 群	砂岩	石炭系构造
Tyne	3 658	天然气	海上	44.33	Conybeare 群	砂岩	石炭系构造—不整合
Boulton	3 868	天然气	海上	27.50	Ketch 段	泥质砂岩	石炭系构造—不整合
Ketch（044/28—1）	3 675	天然气	海上	37.50	Schooner 组	砂岩	石炭系构造—不整合
Schooner	3 791	天然气	海上	108.33	Schooner 组	含砾砂岩	石炭系构造—不整合
043/19—1（Cavendish）	3 537	天然气	海上	33.33	Caister Coal 组	砂岩	石炭系构造—不整合
E/13—1	3 590	天然气/油	海上	25.50	Limburg 群	砂岩	石炭系构造—不整合
L/07—B	3 857	天然气/凝析油	海上	116.67	下 Slochteren 段	砂岩	赤底群构造
L/10	3 702	天然气/凝析油	海上	232.00	上 Slochteren 段	砂岩	赤底群构造
K/06—6	3 600	天然气	海上	50.00	下 Slochteren 段	砂岩	赤底群构造
K/05—A	3 962	天然气	海上	33.33	Slochteren 组	砂岩	赤底群构造
K/12—B	3 800	天然气	海上	62.50	Slochteren 组	砂岩	赤底群构造
L/07—C	3 826	天然气/凝析油	海上	25.00	上 Slochteren 段	砂岩	赤底群构造
K/15—B	3 697	天然气	海上	133.33	Slochteren 组	砂岩	赤底群构造
L/04—A	3 784	天然气	海上	94.17	下 Slochteren 段	硬石膏砂岩	赤底群构造
K/09ab—A	3 725	天然气	海上	42.50	Slochteren 组	砂岩	赤底群构造

续表

油气田	深度（m）	烃类类型	海陆位置	总可采储量（油当量）(10^6bbl)	储集层	储集层岩性	含油气组合
K/15—C	3 650	天然气	海上	28.33	Slochteren 组	砂岩	赤底群构造
K/05—D	3 600	天然气	海上	31.67	Slochteren 组	砂岩	赤底群构造
K/09c—A	4 000	天然气	海上	33.33	Slochteren 组	砂岩	赤底群构造
L/04—6	4 000	天然气	海上	33.33	Slochteren 组	砂岩	赤底群构造

1）*L*/10 天然气和凝析油田

发现于 1970 年 6 月，位于大陆架，水深 27m，面积约为 40 km^2。最终可采储量天然气为 13 900×10^8ft^3，凝析油 335 000bbl。截至 1995 年累积产气 14 320.5×10^8ft^3，截至 1984 年产凝析油至少 108 209bbl；采用的勘探方法为地震。

截至 1995 年 8 月，共钻 55 口井，其中 50 口气井，5 口干井；共有 40 口生产井。主要的储集层为下二叠统 Slochteren 组上 Slochteren 段红褐色砂岩夹页岩，沉积环境为风成沙丘和河流。总厚度平均 111～130 m，孔隙度 8%～24%，平均 15%，渗透率平均（0.1～600）×10^{-3} μm^2。共有 2 套含油层系，深度在 3 702 m 左右（图 3—1—5、表 3—1—4）。主要的烃源岩为 Westphalian 阶 Limburg 群的煤层和页岩。主要的盖层为下二叠统 Ten Boer 段的页岩和上二叠统蔡希施坦群的蒸发岩。圈闭为断块复合体。

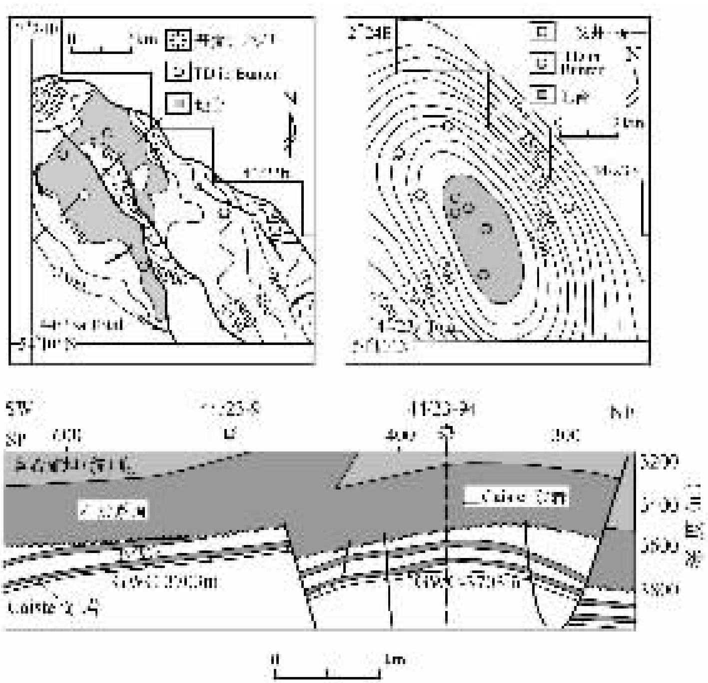


图 3—1—5　英荷盆地 Caister 油田顶面构造及剖面图
（据 Ritchie，Pratsides，1993 年修改）

属赤底群构造含油气组合。从上向下，上赤底群包括 4 个段：Ten Boer 粘土岩段、上 Slochteren 砂岩段、Ameland 粘土岩段和下 Slochteren 砂岩段。L/10 区块上 Slochteren 砂岩段是主要的含气层。Ameland 粘土岩段是一致密层。下 Slochteren 砂岩段与上 Slochteren 段相似，并且是一重要的产气层。1970 年气水界面深度为 3 816 m。

2）*Schooner* 天然气田

发现于 1987 年 1 月，位于海上大陆架，水深 73 m。气田长约 16 km，宽约 4 km，面积约 40 km^2，目前处于生产阶段。最终可采储量天然气 6 $500\times10^8 ft^3$。采用的主要勘探方法为地震。

截至 1996 年 9 月 30 日，共钻 8 口井，其中 6 口气井，1 口干井，1 口天然气显示井。主要的储集层为 Westphalian 阶 Conybeare 群 Schooner 组河流、河道充填含砾砂岩和泥岩。仅有 1 套产层，埋深 3791～3855 m（表 3－1－4）。石炭系砂岩储集层的性质主要受沉积和成岩作用的控制。由于不稳定的长石岩屑和早期形成的白云质胶结，溶解后形成大量的次生孔隙。天然气的采收率主要受砂岩连通性的影响。总厚度平均约 63.7 m，有效厚度平均 42.7 m。孔隙度 4.1%～16.3%，平均 12%；渗透率（0.1～659）$\times10^{-3}$ μm^2。

主要的烃源岩为 Westphalian 阶 Conybeare 群碳质页岩和含煤地层。Westphalian 层序是锡尔弗海地区主要的气源岩，煤层的总有机碳含量高达 70%。盆地最深部位自三叠纪开始生烃，晚白垩世—第三纪进入高峰。天然气通过横向连通的河流—三角洲砂岩夹层运移。

主要的盖层为下二叠统锡尔弗海组蒸发岩和页岩。圈闭为北西—南东走向的断倾背斜，并被早二叠世不整合面削截，属白垩系构造—不整合含油气组合。

3. 油气田形成机制

深层油气藏主要气源岩是上石炭统的煤。油气生成后直接运移进入石炭系互层的低弯度河道砂岩或运移进入上覆下二叠统赤底群风成砂岩。二次运移开始于晚三叠世（?）至中白垩世。在较深的坳陷（如索尔海槽）生气高峰发生于晚白垩世，但在较浅的坳陷（如锡尔弗海坳陷）至今尚未达生气高峰。赤底群风成砂岩或是直接不整合在石炭系之上，或是通过断层与石炭系直接连通，因此气的垂向运移距离不大。

五、小结

（1）英荷盆地面积为 $11.96\times10^4 km^2$，由若干南北至北西—南东走向的断块、坳陷（次盆地）以及隆起组成，海上部分占 77%。

（2）英荷盆地是一个多旋回衰亡的裂谷盆地体系，可分为 3 个活动裂谷期（分别始于早石炭世、早二叠世和中侏罗世）、3 个反转期（晚石炭世、晚侏罗世、晚白垩世和古近纪）及其之后的热沉降期。

（3）盆地基底是下古生界变质沉积岩和花岗岩，盖层最大厚度可达近万米。

（4）盆地中沉积了下石炭统、上石炭统、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、第三系和第四系。其中深层主要为三叠系以下地层。

（5）盆地有石炭—二叠系和西南部的中侏罗统两大含油气系统，其中深层油气主要与石炭—二叠系含油气系统有关。该系统的烃源岩是上石炭统的煤，储集层和输导层由石炭系、二叠系和三叠系提供，盖层由石炭系、二叠系和三叠系泥岩提供。油气生成始于三叠纪并延至现今。一些石炭系圈闭可能早在早二叠世就已形成，但许多圈闭形成于中生代，并在随后的晚白垩世至古近纪的反转运动中被改造。

（6）与深层有关的含油气组合主要是二叠系赤底群组合和石炭系组合，烃类以天然气为

主。盆地中 76.7％的凝析油和 81.1％的气产于赤底群组合中（并非都是深层）；9.6％的油、4.1％的凝析油和 6.5％的气存在于石炭系组合中。赤底群组合和石炭系组合都以构造圈闭（背斜和倾斜断块）为主，但也有地层因素，储集层分别由下二叠统赤底群风成砂岩和低弯度河道砂岩组成，盖层分别是上二叠统蔡希施坦群蒸发岩和互层的泥岩，烃源岩都是上石炭统的煤。

（7）**深层油气藏主要位于海上的索尔海槽、锡尔弗海坳陷和** Broad Fourteens **坳陷，以气藏为主。**

参考文献

Arthur T J. 1993. Mesozoic structural evolution of the UK Southern North Sea：insights from analysis of fault systems. In：Parker，J. R. （ed），Petroleum Geology of Northwest Europe，Proceedings of the 4th Conference，Geological Society，London，1269－1280

Alberts M A，Underhill J R. 1991. The effect of Tertiary structuration on Permian gas prospectivity，Cleaver Bank Area，Southern North Sea，UK. In：Spencer，A. M. （ed），Generation，Accumulation，and Production of Europe′s Hydrocarbons，Special Publication of the European Association of Petroleum Geoscientists，1，161－173

Aldridge R J，Bagshaw C. 1987. Deep geology of Eastern England. The Mercian Geologist，10（4），295－297

Badley M E，Price J D，Backshall L C. 1989. Inversion，reactivated faults and related structures；seismic examples from the Southern North Sea. In：Cooper，M. A. & Williams，G. D. （eds），Inversion Tectonics Meeting，Geological Society Special Publications，44，201－219

Bailey J B，Arbin P，Daffinoti Gibson P，*et al*. 1993. Permo-Carboniferous plays of the Silver Pit Basin. In：Parker，J. R. （ed），Petroleum Geology of Northwest Europe，Proceedings of the 4th Conference，Geological Society，London，707－716

Besly B M，Burley S D，Turner P. 1993. The late Carboniferous，Barren Red Bed′ play of the Silver Pit area，Southern North Sea. In：Parker，J. R. （ed），Petroleum Geology of Northwest Europe，Proceedings of the 4th Conference，Geological Society，London，727－740

Cameron T D J，Crosby A，Balson P S，*et al*. 1992. The geology of the Southern North Sea. British Geological Survey，Keyworth，152

Collinson J D，Jones C M，Blackbourn G A，*et al*. 1993. Carboniferous depositional systems of the Southern North Sea. In：Parker，J. R. （ed），Petroleum Geology of Northwest Europe，Proceedings of the 4th Conference，Geological Society，London，677－688

Cooke－Yarborough P. 1991. The Hewitt Field，Blocks 48/28－29－30，52/4a－5a，UK North Sea. In：Abbotts，I. L. （ed），United Kingdom Oil and Gas Fields，25 Years Commemorative Volume，Geological Society Memoir，14，433－442

Cornford C. 1990. Source rocks and hydrocarbonds of the North Sea. In Glennie，K. W.（ed），Introduction to the petroleum geology of the North Sea，Blackwell，Oxford. 3rd Edition，294－361

Glennie K W. 1990（ed）. Introduction to the petroleum geology of the North Sea, Blackwell, Oxford. 3rd Edition

Glennie K W, Boegner P L E. 1981. Sole pit inversion tectonics. In: Illing, L. V. & Hobson, G. D. (eds), Petroleum Geology of the Continental Shelf of North West Europe: Proceedings of the Second Conference, 110—120. Heyden and Son, London

Hooper R J, Leng Siang Goh, Dewey F. 1995. The inversion history of the northeastern margin of the Broad Fourteens Basin. In: Buchanan, J. G. & Buchanan, P. G. (ed), Basin Inversion, Special Publication of the Geological Society, London, 88, 307—318

Huyghe P, Mugnier J L. 1995. A comparison of inverted basins of the Southern North Sea and inverted structures of the External Alps. . In: Buchanan, J. G. & Buchanan, P. G. (ed), Basin Inversion, Special Publication of the Geological Society, London, 88, 339—354

Leeder M R, Hardman M. 1990. Carboniferous geology of the Southern North Sea Basin and controls on hydrocarbon prospectivity. In: Hardman, R. F. P. & Brooks, J. (eds), Proceedings of Tectonic Events Responsible for Britain's Oil and Gas Reserves, Geological Society Special Publications, 55, 87—105

Roelofsen J W, de Boer W D. 1991. Geology of the lower cretaceous Q/1 Oil Fields, Broad Fourteens Basin, the Netherlands. In: Spencer, A. M. (ed), Generation Accumulation and Production of Europe's Hydrocarbons, Special Publication of the European Assocaiton of Petroleum Geoscientists, 1, 203—326

Van Hoorn B. 1987. Structural evolution, timing and tectonic style of the sole pit inversion. In: Ziegler, A. (ed), Compressional Intra Plate Deformations in the Alpine Foreland, Tectonophysics, 137 (1—4), 239—284

Van Wijhe D H. 1987. The structural evolution of the Broad Fourteens Basin. In: Brooks, J. & Glennie, K. W. (eds), Petroleum Geology of North West Europe, 315—323. Graham and Trotman, London

Winstanley A M. 1993. A review of the Triassic Play in the Roer Valley Graben. In: Parker, J. R. (ed), Petroleum Geology of Northwest Europe, Proceedings of the 4th Conference, Geological Society, London, 595—608

第二节　马拉开波盆地

马拉开波（Maracaibo）**盆地主要位于委内瑞拉西北部，其东南缘在哥伦比亚东部，它包括马拉开波湖以及周围平原和丘陵地区**（**图** 3—2—1）。**盆地面积** 61 450 km²，**其中委内瑞拉占** 55 270 km²（**海上** 12 350 km²，**陆上** 42 920 km²），**哥伦比亚占** 6 180 km²，**该盆地可分为** 8 **个坳陷**：Sierra de Perija **边缘、马拉开波湖西岸、马拉开波湖中部、玻利瓦尔湖岸地区、法尔孔**（Falcon）**边缘、梅里达·安第斯**（Merida Andes）**边缘、马拉开波湖南部、卡塔通博**（Catatumbo）**坳陷**（**图** 3—2—2）。

一、区域地质

1. 盆地演化

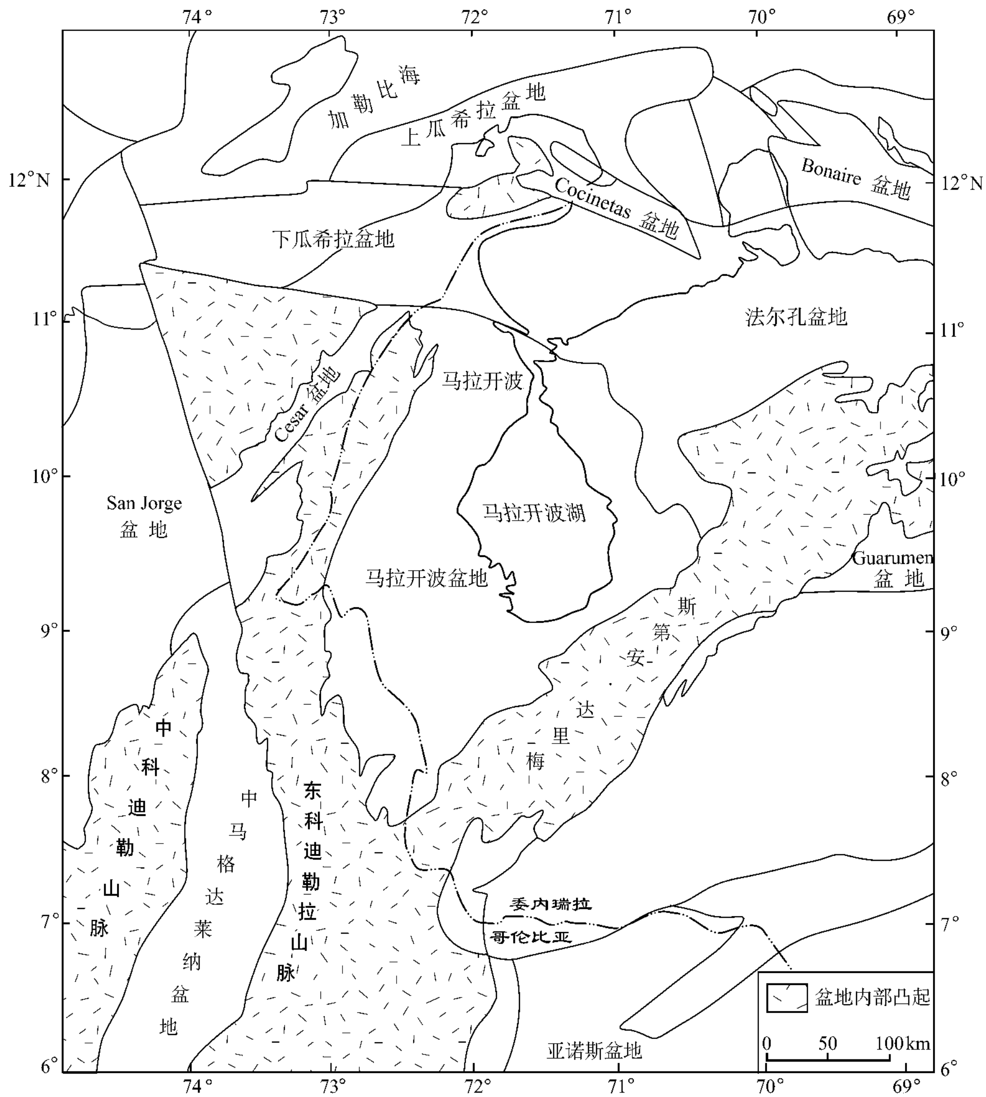


图 3－2－1　**马拉开波盆地位置图**

（**引自** Angus Findlay，Jeremy Benton，1994）

1）**前裂谷基底形成期**

盆地的基底是由前寒武纪晚期的变质岩、早古生代的褶皱及部分变质岩组成。

马拉开波湖未钻遇前寒武系地层，但在梅里达·安第斯广泛分布着 Iglesias **群，该群由片麻岩、混合岩、花岗岩、角闪岩及片岩等组成，放射性测定年龄为** 1133 Ma，**属前寒武系地层。**

整个委内瑞拉古生代沉积主要发生在 2 **个时期，一是前寒武纪末，另一个则为晚二叠世—早侏罗世。在梅里达·安第斯，卢德路**（Ludlovian）**—卡拉道克阶陆架，形成** Caparo **组浅水沉积，逐渐过渡到** Cerro Azul **组的较深水沉积。**Mucuchachi **组由变质岩组成，是下古生界的产物。**

泥盆系主要发育在 Sierra de Perija **及梅里达·安第斯地区，在** Sierra de Perija **边缘坳**

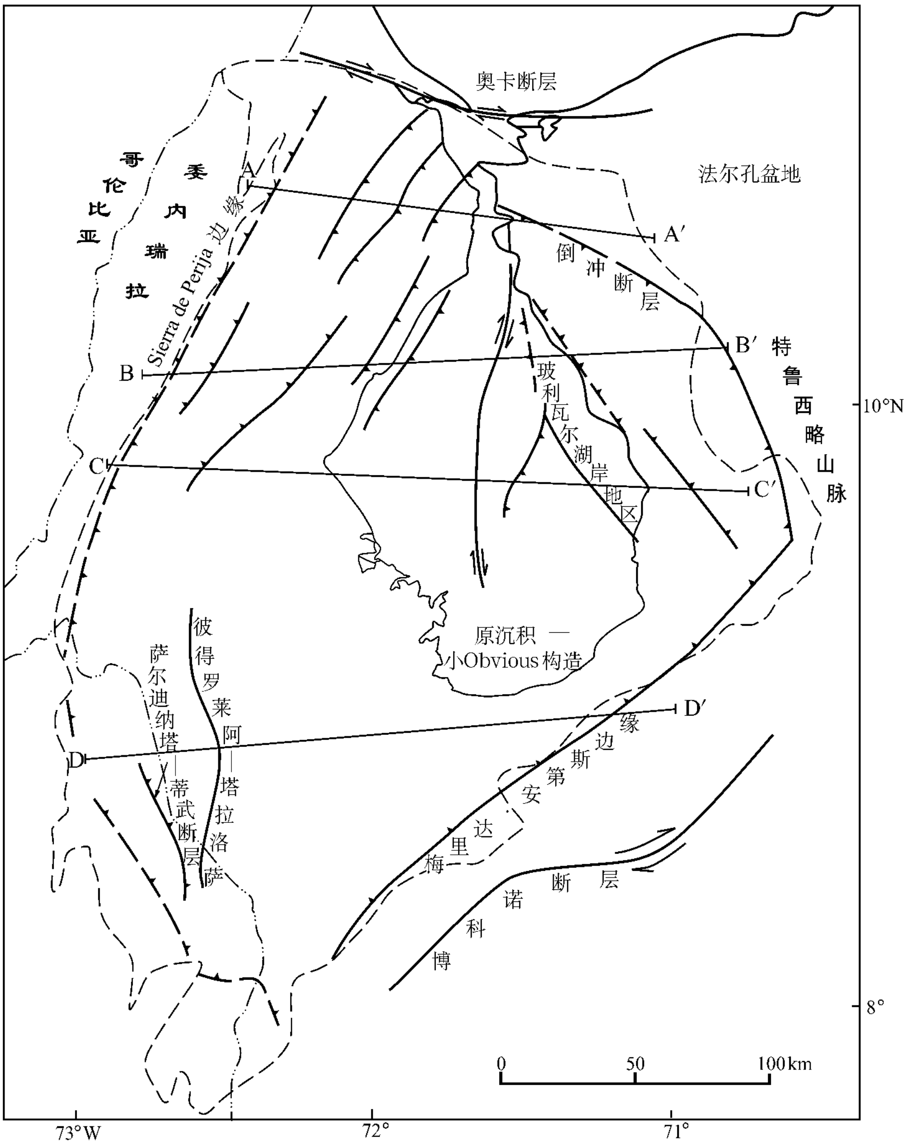


图 3—2—2　马拉开波盆地构造纲要图

（引自 Angus Findlay，Jeremy Benton，1994）

陷，其沉积为 Rio Cachiri 群，可分为 3 个组，即 Cano Grande、Cano del Oeste 及 Campo Chico 组，为一具有花岗岩侵入的海退层序。

石炭系在梅里达·安第斯是 Mucuchachi 组，在北部沉积物主要为厚层泥岩。其上为 Sabaneta 组所覆盖，主要为陆相，由下向上为砾岩、交错层理砂岩至红层的层序。再向上是 Palmarito 组（晚石炭世—二叠纪），该组为含有少量砂岩的海相泥岩，向上逐渐变为生物介屑灰岩。

二叠纪末发生的造山运动，产生了该盆地的主要断裂和褶皱，由于变质作用，在 Sierra de Penja 及梅里达·安第斯地区古生代沉积出露地表并发生了不同程度的变质，而在 La Paz 和 Mara 地区（图 3—2—3），由于变质作用致使原始孔隙被破坏。

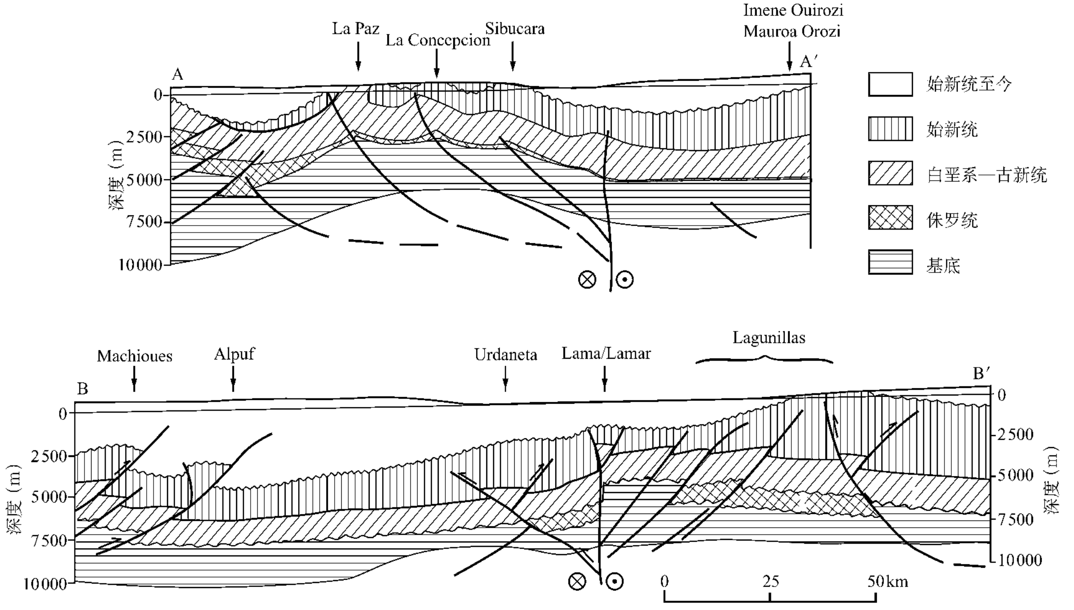


图 3—2—3　**马拉开波盆地北部区域横剖面（引自** Angus Findlay，Jeremy Benton，1994）

（剖面位置见图 3—2—2）

2）**同生裂谷期：三叠纪—侏罗纪**（245—145 *Ma*）

陆相砂岩与基性火山岩为裂陷期张性背景的产物，代表了大西洋扩张的开始。

在 Sierra de Perija **地区，三叠纪和侏罗纪的代表产物是** La Ge **群，为陆相沉积，可分成** Tinacoa **组和** Macoito **组。**Tinacoa **组为局限海相砂泥岩，**Macoito **组也为局限海沉积，但是** La Quinta **组则由凝灰岩、岩浆岩和红色砂岩组成。**

只有 La Quinta **组（侏罗纪）在梅里达·安第斯地区有出露，但在盆地内部钻井可见。**La Quinta **和** Totumo **火山岩形成于盆地的裂陷幕期间，并在** 7 **个坳陷中均可见到。**

La Quinta **组的下部由红色粉砂岩、砂岩及高含量的火山碎屑岩组成，与下白垩统沉积呈渐变关系。**

3）**后裂谷期：白垩纪—古新世**（145—56.5 *Ma*）

被动大西洋边缘沉积，海侵作用形成开阔而稳定的陆棚，南部形成三角洲沉积，而海退则造成上部地层以非海相沉积为主。

早白垩世出现被动大陆边缘沉积，整个巴列姆期，3 **个海槽（即** Machiques、Uribante **和** Barqnisimeto **海槽）同时发生海侵，形成巨厚的** Rio Negro **组的粗碎屑沉积。在早白垩世的阿普第—阿尔布期，马拉开波台地海侵更为普遍，盆地的主要部分沉积了厚层生物碎屑灰岩，首先是** Apan **组的陆棚生物灰岩，然后是卡塔通伯坳陷的** Tibu **及** Machiques **段。此时南方和西南部形成了潮控三角洲沉积，致使** Aguardiente **组的钙质砂质增加，并与碳酸盐台地呈指状交叉。在** Guyana **地盾的东南方，这一沉积物为连续的三角洲沉积，富含石英砂岩。在阿尔布期，三角洲沉积延伸到北部，形成** Lisure **组，该组由海绿石、钙质砂岩和泥岩组成，并与陆棚石灰岩形成互层。其上覆盖着阿布尔—西诺曼阶的** Marca **组，为分布极为广泛的板状生物碎屑灰岩，其厚度在** 30 m **左右。**

在西诺曼—桑托阶，白垩纪发了最大程度的海侵，形成了 Capacho **组及** La Luna **组（厚**

达 200 m 以上)，前者是富含有机物的石灰岩，后者则为整个盆地乃至南美北部的主要烃源岩。

坎佩尼阶初期（K_3），盆地西南部仍为陆架石灰岩沉积，其后是超过 800 m 厚的卡龙组灰色泥岩，代表着大西洋边缘的最终沉积。其上则被 Mito Juan 组所覆盖，为三角洲由南向北进积的产物，砂、泥岩互层表明海域更为局限，有时为半成水环境。

白垩纪末，在海退的同时，盆地中部伴随着南北向断裂的再次活动。从白垩纪到古新世，沉积相发生了变化，沉积作用的发展存在着 3 个明显的分区：①盆地西南角的海陆交互区；②Serrania de Trujillo 地区的浅海台地区；③东—北东向枢纽的向斜区。

在盆地的南部地区，古新世沉积由 3 个整合单元所组成，它们共同构成 Orocue 群：①Catatumbo 组为局限海和陆相泥岩沉积；②Barco 组主要由河流—三角洲相砂岩组成，厚达 90 m 以上；③Los Cuervos 组以泥岩为主，夹少量的煤和砂岩，为海陆交互相/沼泽环境沉积的产物。在盆地中部，古新世初期沉积了 Guasare 组的开阔陆棚泥岩和石灰岩，随后在盆地西部（Sierra de Perija 坳陷）沉积了富煤的 Marcelina 组，该组在委内瑞拉和哥伦比亚含有若干层具工业价值的煤矿，而在盆地的东北部则为 Trujillo 组下部地层，主要为深水浊积砂泥岩沉积。

4）挤压及坳陷期（*I*）：始新世到渐新世（56.5—23.3 *Ma*）

随着主要挤压及转换断裂幕的发生，Sierra de Perija 坳陷发生抬升，致使形成横穿全盆的巨大河流—三角洲沉积体系。

古新世末，盆地南部缓慢抬升，而盆地中部则发生了南北向的突发性构造运动。始新世发育了一个广泛分布的三角洲体系，由南向北形成巨大的三角洲朵体。如前所述，三角洲碎屑物来源于西南方的 Guyana 地盾（主要为前寒武系的 Roraima 砂岩）。在盆地的南方和西南部，随着河流沉积的形成，沉积作用极为复杂。盆地的东北部，河流—三角洲沉积在台地上和向枢纽线一方。盆地南部卡塔通博坳陷的 Mirador 组和中、东部的 Misoa 组均由河流—三角洲砂泥岩互层组成（净厚达 500 m)。枢纽带的东—东北部，在 Trujillo 和 Matatere 组中发育了浊积岩和复理石。始新世末，东北部形成较深水沉积，尤其是 Pauji 组的泥岩，厚度在盆地东部超过 1 200 m，而在盆地没有断陷的地区则仅 500 m。

晚始新世，在 Sierra de Perija 开始挤压抬升的影响下，盆地其他地区发生了广泛的断裂活动，伸张断层的早期具有明显的反转。盆地中的大部分断裂都是横推断层，这是由于加勒比海板块向东漂移所致，这一运动沿奥卡（Oca）断裂，直接向盆地的北部运动，并持续了整个第三纪。早期的运动发生于盆地的主断裂，如湖盆中央的南北向 Icotea 断裂及玻利瓦尔湖岸区的主断裂。在盆地的东部，沿构造轴线的大量剥蚀使 Pauji 组全部和 Misoa 组部分缺失，向南，古新统 Guasare 组的上部也遭受剥蚀，与此同时，白垩系石灰岩沿着主断裂带发生破裂。

由于始新世末盆地广泛的断裂抬升，渐新世沉积很少。在盆地的东部及南部，渐新统沉积序列由三角洲/冲积平原沉积组成，并构成 Carbonera 组，平均厚度 350 m，包括 100 m 的纯砂岩。在盆地中部，渐新统主要是 Icotea 组的海滩及陆架沉积，平均厚度仅 40 m。

5）挤压及坳陷期（Ⅱ）：早至中新世（23.3—10.4 *Ma*）

随着挤压与转换压扭的活动，盆地的东部形成了河流—三角洲沉积，挤压运动源于 Sierra de Perija 的进一步活动。

中新世初期，马拉开波盆地西部边缘受 Sierra de Perjia 抬升的影响已经形成。中新世挤

压断裂及褶皱进一步向南方发展，促使 Santander 地块抬升及其东部 Tarra—Los Minueles 褶皱的形成（图 3—2—4）。

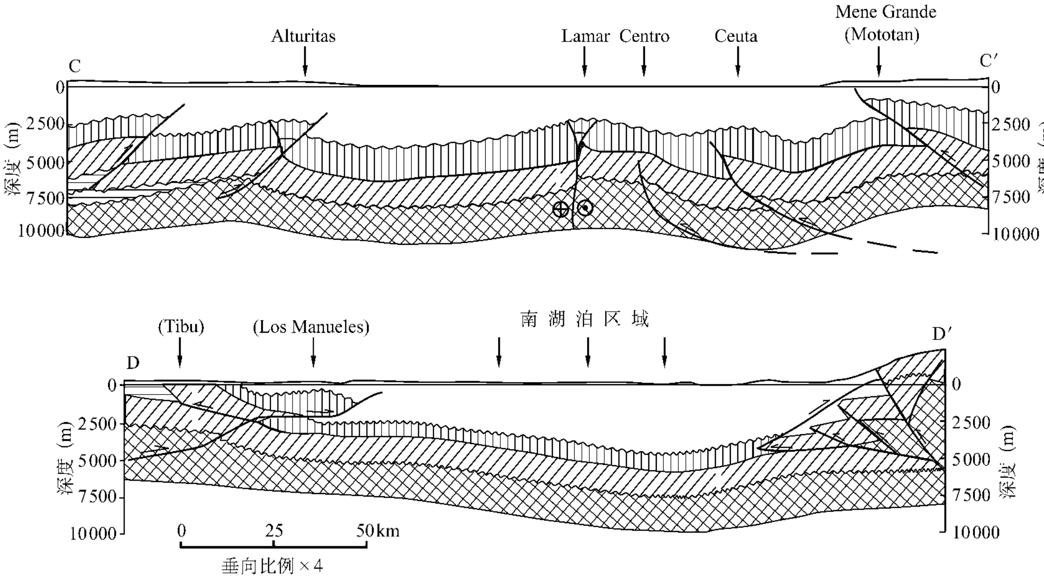


图 3—2—4　马拉开波盆地南部区域横剖面（引自 Angus Findlay，Jeremy Benton，1994）
（剖面位置见图 3—2—2、图例同图 3—2—3）

在布尔多期，发生了一次海侵，形成了 La Rosa 组的滨线沉积。海侵延伸到盆地的南部，盆地的中部沉积了 Santa Barbara 段，而中始新统/渐新统则遭受剥蚀。在一些地区（如，Pueblo Viejo 构造），大部分始新统缺失。最大海侵期，在东部的玻利瓦尔湖岸区、西部的 Boscan—Urdaneta 组及湖盆中部（Lama 和 Lamar）沉积了滨岸/三角洲相的砂岩。在 Santa Barbara 段之上，发育了分布广泛的海相泥岩，与盆地边缘的小规模砂岩形成互层，标志着最大海侵期。

在 La Rosa 组之上，有少量 Lagunillas 组海相沉积，该组下部由边缘海/半咸水环境的砂岩组成，向东北方向，渐变为陆相和海陆过渡相沉积。

La Rosa 组和 Lagunillas 组向东过渡为 Palmar 组陆相/滨岸平原沉积，这表明盆地的东部边缘开始抬升，Palmar 组由河流相的砂岩、粉砂岩及泥岩组成。

6）**山间坳陷沉积期：晚中新世至今**（19.4—0 *Ma*）

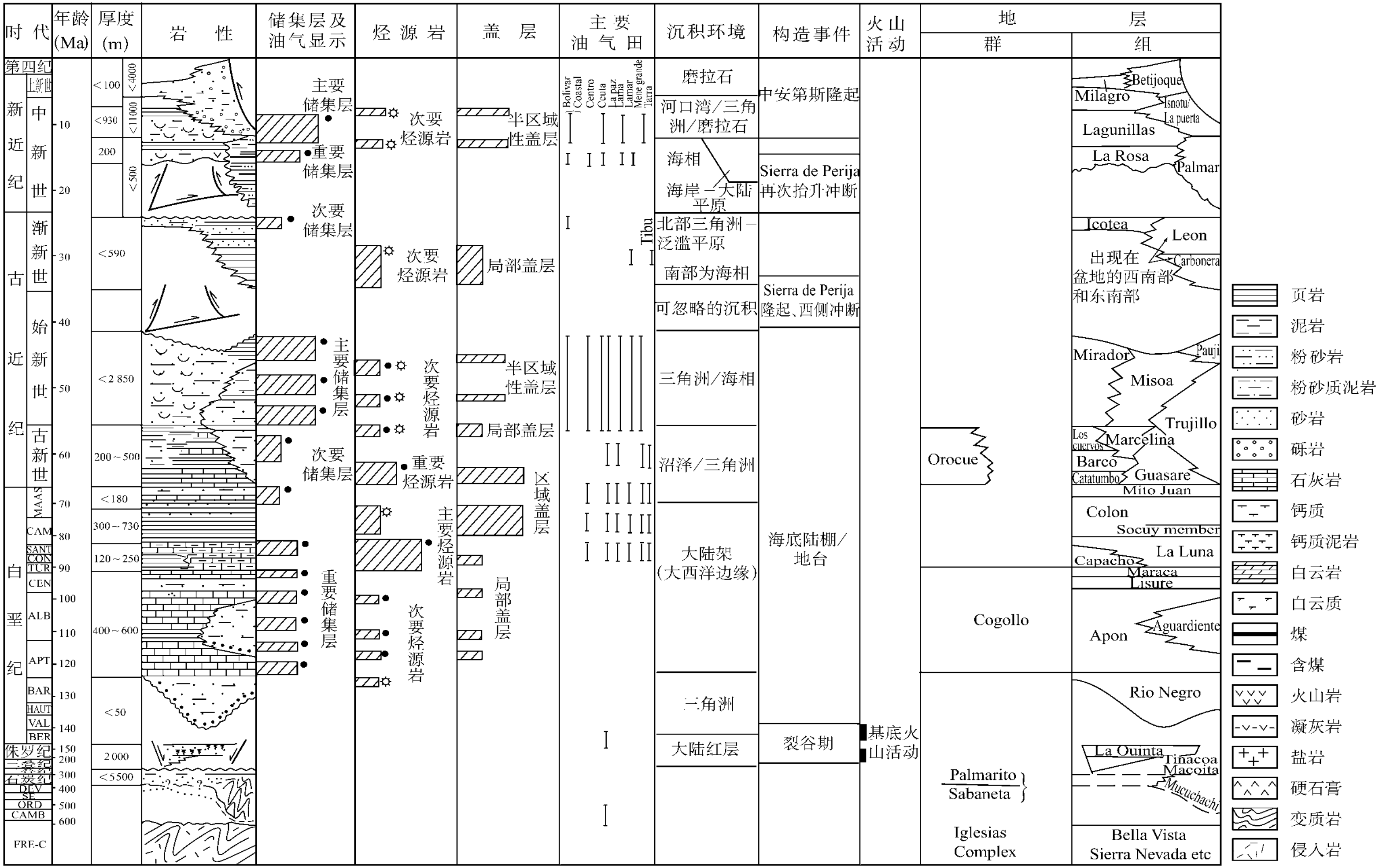
上新世—更新世，梅里达·安第斯地区发生挤压抬升，向西部的俯冲作用致使盆地中的许多构造发生重新调整，尤其是玻利瓦尔湖岸区，在梅里达·安第斯聚敛的两侧边缘沉积了巨厚的碎屑岩。这些碎屑岩构成了 Isnotu 和 La Puerta 组，Isnotu 组发育在盆地的东/东南部至安第斯山脉的西缘；而 La Puerta 组则出露于玻利瓦尔湖岸区的东缘及法尔孔盆地的西部。两个均为磨拉石沉积，由河流相沉积组成（厚达 10 000m 以上），沿安第斯山脉前缘分布，向西则为冲积平原沉积，偶尔有海相侵入。

在晚上新世至更新世期间，梅里达·安第斯继续抬升，使盆地的西翼进一步沉积砾岩和河流相砂岩，并形成 Betijoque 组，在山前地区该组厚度超过 2 000 m，并逐渐过渡为 Milagro 组薄层边缘湖相沉积。

2. **地层简介**

马拉开波盆地的地层发育较为齐全，从古生界到新世界均有发育，并且地层极为复杂（表3—2—1），尤其是组的名称就达几十个，盆地的不同部位差异较大，难以对比，下面从

表 3—2—1　**马拉开波盆地综合地层（引自 Angus Findlay，Jeremy Benton，1994）**



老到新进行简单的介绍。

1）古生界

早古生代基底沉积，包括 Mucuchachi 组、Iglesias 群等，是一套以火山岩、变质岩为主的沉积。

2）三叠—侏罗系

为裂陷期沉积的产物，包括 La Quinta、Tinacoa、Macoita 组等，以陆相红色砂岩、火山岩为主。

3）下白垩统

为巨厚的 Rio Negro 组膏盐沉积。

4）阿普第—阿尔布阶（K_1）

为海侵的产物，包括 APON 组生物灰岩、Aguardiente 组砂岩、Lisure 组碳质砂泥岩互层。

5）西诺曼—桑托阶

海侵程度最大，包括 La Luna 组与 Capacho 组，前者是主要烃源岩，为生物碎屑灰岩，后者则以粉砂岩为主。

6）坎佩尼（K_3）

首先是卡龙组的泥岩沉积，然后是超覆于其上的 Mito－Juan 组砂岩沉积。

7）上白垩统

发育了 Orocue 群巨厚沉积，包括卡塔通博组、海陆交互相泥岩、布克组、河流及三角洲砂泥岩沉积、Los Cuervos 组、沼泽环境泥岩。

8）古新统—始新统

包括 Mirador 组、Misoa 组和 Pauji 组等，是海相三角洲沉积。

9）始新统—渐新统

包括 Carbonera 和 Icotea 组等，主要是三角洲、冲积平原及边缘海沉积。

10）中新统—上新统

有 La Rosa 组、Palmar 组、Lagunillas 组、Isnotu 组、Milagro 组、Betijoque 组等，主要是海侵产物，其中有三角洲及磨拉石沉积。

二、含油气性

1. 烃源岩

长期以来，特别是在白垩系储集层中发现油气以来，人们认为 La Luna 组是马拉开波盆地的主要烃源岩，因为它生成了盆地中 90％以上的烃。

1）*La Luna* 组

La luna 组由黑色碳质页岩及石灰岩组成，其中有碳质泥岩夹层，并包括巨厚的黑色有机物质，岩石有强烈的油味，*TOC* 值很高，在 1.5％～9％之间，全盆地平均为 3.8％。有机质主要是Ⅱ型干酪根，生物标志化合物表明为海相缺氧环境，每立方千米 La Luna 组岩石可产生 290×10^6 bbl 原油。油气开始形成时镜质组反射率 R_o 为 0.45％～0.5％，产油高峰期为 0.8％，而在生油窗顶部 R_o 则为 1.2％～1.3％。对 La Luna 组来说，根据 1.6～2.2℃/100 m 地温梯度计算，3 000～4 000 m 是主要生油层段。

2）其他潜在的生油岩

（1）Rio Negro 组：含较小规模的陆相泥岩。来自于 Alturita、Rosario 等地和其他油田的样品分析结果表明，*TOC* 值超过 1.7％，该组不能生成大量油气。

（2）Apon 组：由浅水碳酸盐台地石灰岩组成，由于海退而出现沉积间断。经样品分析 *TOC* 超过 2.8%，平均 1.14%，为海相生油母质，生油潜力中等。

（3）Lisure 组：陆棚石灰岩，*TOC* 超过 2.6%，平均 0.97%，有机质一般是海相Ⅱ型干酪根，生油潜力较低（<2 kg/t）。

（4）Marca 组：*TOC* 超过 0.68%，Ⅱ型有机质，生油潜力较低（<2 kg/t）。

（5）Capacho 组：与 La Luna 组特性相似，但生油潜力却差得多，*TOC* 值 0.6%～8.3%，平均 3.1%。有机质为Ⅱ型干酪根，生烃潜力介于 0.3～29.8 kg/t 之间。

（6）卡龙组：较厚的泥岩，沉积在氧气充足的环境中，*TOC* 0.5%～1.1%，平均 0.8%，Ⅲ型有机质，生油潜力较低（平均 1.14 kg/t）。

（7）卡塔通博组、Barco 及 Los Cuervos 组：泥岩 *TOC* 分别为 0.5%、0.4%和 0.55%，为Ⅲ型有机质，生烃潜力低（<2 kg/t），仅在局部地区成熟。

（8）Guasare 组：浅海陆架环境，平均 *TOC* 值 1.2%，有机物Ⅲ型，生烃潜力较低。

另外还有 Marcelina 组、Mirador 组、Misoa 组、Trnjillo 组、Icotea 组、La Rosa 组等其他潜在生油岩，*TOC* 值较小，一般不超过 3%，干酪根（有机质）类型一般为Ⅲ型，生油潜力较差，不超过 2 kg/t。

由以上分析可知，马拉开波盆地主要以 La Luna 组生物碎屑灰岩作为主要烃源岩，盆地中大约超过 90%的油气来源于 La Luna 组，而 7%来自于 Capacho（或 Apon）组，其余则来自于白垩系和古新统。

2. 储集层

马拉开波盆地的主要储集层为上中新统和下、中始新统（表 3—2—2），它们分别占盆地原始可采储量的 42%及 49%，其他时代的储集层则相对次要，现根据时代及主次关系分别进行描述。

表 3—2—2　马拉开波盆地主要储集层的原始储量

地层	上中新统	下中新统	渐新统	下、中始新统	古新统	白垩系	前白垩系
原始可采储量（$\times 10^6$bbl）	23 194	331	594	26 655	330	2 760	368
所占盆地油气总量百分比（%）	42	<1	1	49	<1	5	<1

1）前白垩系基底储集层

具有相当储量，特别是在 La Paz—Mava 地区，该地区储集层由黑灰色变质岩组成。

2）白垩系储集层

以石灰岩为主，有 Cagollo 群的 Apon 组、Lisure 组及 Maraca 组，还有 La Luna 组和 Socuy 段。这些组的石灰岩在盆地的一些油气田，如 La Paz/Mara 及 El Rosario 和 Tavval（卡塔博通坳陷）油气田为主要产层。白垩系储集层在整个盆地厚度变化不大，从北到南厚度为 305～351 m，属较为重要的储集层。

3）古新统储集层

产量有限但分布较广，油气主要分布于卡塔通博组、Barco 组及 Los Cuervos 组，还有

Guasue 组。

4）下、中始新统储集层

主要产于 Mirador 组和 Misoa 组之中，另外还有 Trujillo 组和 Pauji 组，Mirador 组和 Misoa 组分别为卡塔通博坳陷和玻利瓦尔湖岸油区的主要产层，同时，Misoa 组也是中央区和西北部的重要产层。Mirador 和 Misoa 彼此相似，皆发育于一个大规模的河流—三角洲体系。其沉积相类型从南部河道和冲积扇沉积（Mirador 组），向北变为分流河道和滨岸沙坝（Misoa 组）。储集层的最有利部分在冲积扇及滨岸砂体的下部，在那里砂体较大，孔、渗较高，砂泥互层，侧向稳定。经过盆地东北部边缘大断裂，Misoa 组下部渐变成深水的 Trujillo 组，孔、渗变低。Trujillo 组位于盆地东部，最大厚度 150 m，平均孔隙度 10%，平均渗透率 $102\times10^{-3}\mu m^2$。裂隙的存在改善了储集层的渗透性。

其原始可采储量达 $26\ 655\times10^6$ bbl，近一半分布于玻利瓦尔湖岸油区，1/4 分布于盆地中央湖水区，剩下的存在于卡塔通博坳陷等地。

5）渐新统储集层

产量有限，仅分布于 Icotea 和 Carbonera 组，二者皆为砂岩，前者粒度粗，在 Urdaneta 地区产稠油；后者为河流—三角洲砂岩，厚仅 10 m，平均孔隙度 27%。

6）中新统储集层

主要是 2 个层段，La Rosa 组的 Sata Barbara 砂岩段和 Lagunillas 组的砂岩段，La Rosa 组是法尔孔地区由海侵形成的海滩砂岩，并被海退泥岩覆盖，Lagunillas 组则由河道砂组成。2 个组的储集层分布于玻利瓦尔湖岸油区及盆地中央，分布较为局限。

La Rosa 组较薄，很少超过 25 m，但由于压实不充分使其成为良好储集层，在 Laganilla，孔隙度达 25%～30%，而渗透率也达（150～500）$\times10^{-3}\mu m^2$。在 Mcne Grande 孔隙度为 27%～31%，Bascan 为 26%，Vrdaneta 为 32%。由于沉积于滨线环境，故孔隙度变化较大。

Lagunillas 组砂岩形成环境复杂，有河流、三角洲及浅海，厚度为 670～1 370 m，可分成 5 个段，即 Baohaguero 段、Vrdaneta 段、Lajuua 段、Ojeda 段及 Marlago 段。各段沉积厚度不一（表 3—2—3）。

表 3—2—3　马拉开波盆地中新统 Lagunillas 组各段厚度

段	Bachaquero	Urdaneta	Laguna	Ojeda	Marlago
厚度（m）	122～290	305～640	75～152	91～168	76～122
岩　性	砂　岩	砂岩	砂岩	砂岩	砂岩

Lagunillas 组储量丰富，高达 $23\ 194\times10^6$ bbl，而 La Rosa 组则为 331×10^6 bbl。

从以上不同时代储集层分析可知，马拉开波盆地不同时期都有储集层，但主要为第三系的河流、三角洲及滨岸滩砂沉积。

3．盖层

上白垩统主要区域性盖层是卡龙组泥岩，覆盖于 La Luna 组烃源岩和相关储集层之上，它至少有 300 m 厚，具有明显的超压，对白垩系石灰岩中的油气具有遮挡作用。

Los Cuervos 和 Marcelina 组泥岩为古新统储集层的半区域性（或地区性）盖层。

始新统储集层由其组内盖层所封闭，包括 Misoa B 和 C 单元顶部的泥岩，以及由渐新统泥岩所形成的局部性盖层（表 3—2—4）。

表 3—2—4　马拉开波盆地主要生储盖层基本特征

类　　型	层　　位	岩　　性	时　　代
储　　层	Mirador 组	河流及冲积扇砂体	早中始新世
	Misoa 组	河流及冲积扇砂体	早中始新世
	La Rosa 组的 Satabarbara 段	河道砂岩	早中中新世
	Lagunillas 组	河道砂岩	早中中新世
生　油　层	La Luna 组	石灰岩及碳质灰岩	晚白垩世
盖　　层	卡龙组	泥岩	晚白垩世

中新统 Santa Rosa 泥岩封闭 Santa Barbara 砂岩。Ojeda 段泥岩封闭 Mariago 段砂岩，Vrdaneta 段泥岩封闭 Laguna 段砂岩，La Puerta 组泥岩封闭 Baohaguero 段的砂岩。

以上盖层都是局部的，而且并非完全有效，后期可能遭破坏。

4. 油气生成与运移

前已述及，马拉开波盆地 90％以上的油气来源于白垩系 La Luna 组烃源岩之中，而其最主要的储集层又是第三系中新统和始新统储集层，这样运移对油气藏的形成就极为重要，其中第三系的断裂和构造运动一方面产生了大量的圈闭，另一方面促使先于第三纪产生的大量油气（尤其是 La Luna 组生成的油气）沿不整合及断层进入第三系储集层之中，遇到合适的圈闭就形成油气藏。另外在第三纪，盆地中油气生成、运移及再运移的过程不断发生，尤其是在始新世，如始新世末沿盆地东部边缘在西北一个狭长区域中就有油气生成和运移，而渐新世和中新世在盆地中心有油气生成和运移。

根据计算，整个 La Luna 组理论上生成了 $4\ 800\times10^{8}$bbl 油当量，而现已发现 500×10^{8}bbl，产出 320×10^{8}bbl。

5. 含油气组合

1）主要含油气组合类型

主要类型主要有：上中新统构造—地层含油气组合、始新统构造—不整合含油气组合、始新统构造—地层含油气组合、始新统构造含油气组合、白垩系构造含油气组合（表 3—2—5）。

表 3—2—5　马拉开波盆地主要含油气组合的储量

类　　型	最终可采储量（10^{6}bbl）	占盆地总储量（％）
上中新统构造—地层含油气组合	23 142	42.6
始新统构造—不整合含油气组合	14 851	27.4
始新统构造—地层含油气组合	9 207	17.0
始新统构造含油气组合	2 238	4.1
白垩系构造含油气组合	2 356	4.3

（1）上中新统构造—地层组合。主要分布于玻利瓦尔湖岸油田区，圈闭类型以地层成因为主，但受大断层的影响，聚集了马拉开波盆地 42.6%的油气储量，是该盆地第一大含油气组合。

（2）始新统构造—不整合组合。主要分布于玻利瓦尔湖岸油田区，是在不整合基础上发生构造变动而形成的圈闭，为第二大含油气组合，含盆地 27.4%的油气储量。

（3）始新统构造—地层含油气组合。皆在玻利瓦尔湖岸油田区，受构造与地层共同影响，拥有盆地 17.0%的储量。

（4）始新统构造含油气组合。含有盆地 4.1%的储量。

（5）白垩系构造含油气组合。含有盆地 4.3%的储量。

2）含油气组合分布

上中新统构造—地层组合分布于玻利瓦尔湖岸油区。始新世构造—不整合含油气组合亦主要分布于玻利瓦尔湖岸油区，另外马拉开波湖中央地区的 Lama 油田及马拉开波湖西部的 Urdaneta 油田都有这种组合。

始新统构造—地层含油气组合分布于玻利瓦尔湖岸油区的 Bachaguero 及 Pueblo Viejo 油田。另外湖内的 Centro、Ceuta、Lamar 油田，法尔孔边缘的 Mene Grande 油田，Sierra de Perija 边缘的 Boscan 油田，以及在卡塔通博坳陷的 Rio Zulia 油田等均有此组合的分布。

白垩纪的构造含油气组合分布于北部 Sierra de Perija 边缘的 La Paz 及 Mara 油田，卡塔通博坳陷的 Tibu 及 Cerro Gordo 油田，中心湖区的 Lama 组等。

3）影响油气有效圈闭的因素

（1）油气生成：前已述及，马拉开波盆地 90%以上的油气来自白垩纪的 La Luna 组，所以其大量油气形成应至少在白垩纪 La Luna 组沉积之后，另外，在整个第三纪特别是在始新世之后油气开始大量生成。

（2）圈闭形成：马拉开波盆地在三叠—侏罗纪、始新世、渐新世—中中新世及中新世—上新世均发生过几次大的构造运动，可能产生圈闭（包括不整合圈闭）。

（3）封闭时间：白垩系含油气组合的封闭主要是依靠坎佩尼—麦斯特里希特阶卡龙组沉积时形成的泥岩。

始新统含油气组合经过渐新世（Icotea 和 Leou 组）、中新世（La Rosa 组）及上新世（La Puerta 组）3 次独立的构造运动，可能会使已封闭的油气发生逸散或转移。

中新统含油气组合则为中新统的 La Rosa 组泥岩封闭。

所以，油气保存时间应该在油气生成及圈闭形成之后到封闭之前，而在早期形成的油气则逸散掉了。

6. 含油气系统

盆地主要有 2 个含油气系统，即 La Luna 含油气系统和 Orocue 含油气系统。

1）*La Luna* 含油气系统

（1）烃源岩：La Luna 组泥岩及石灰岩。

（2）储集层：包括基底的 La Quinta 组，白垩系的 Cogllo 群、La Luna 组、卡龙组的 Socuy 段，古新统的卡塔通博组、巴库组，中新统的 Mirador 和 Misoa 组，渐新统的 Icotea 组，中新统 La Rosa 组的 Santa Barbara 砂岩段和 Lajunillas 组，上新统的 Mene Grande。

（3）盖层：卡龙组是整个盆地惟一一个区域性盖层；其他一些半区域性或局部性盖层为局域性的。

（4）构造：在始新世、渐新世—中中新世及晚中新世—上新世，发生了几次构造变动（抬升、褶皱、断裂），导致产生了几个大的构造，有些成为很好的圈闭。

（5）烃的类型：油的密度从玻利瓦尔湖岸区的10°API到马拉开波南部湖区的43°API。

（6）分布：由于烃的生成、运移及圈闭条件都极为有利，在盆地的各个主要部分都有分布。

（7）系统规模：从玻利瓦尔湖岸油区的200×10^8 bbl到较小规模的油气田。

（8）埋深：浅部至6 000 m左右。

La Luna含油气系统是盆地的主要含油气系统，盆地绝大部分油气产自于这个系统，La Luna组在不同阶段于盆地不同部位不断生成油气，经过几次大的构造运动、运移、再运移，遇到合适的圈闭即形成油气藏，最终产生了La Luna含油气系统，其中包括玻利瓦尔湖岸油区这个超巨型油田，该区自始新世以来，一直在生成和捕集石油。另外，石油的多期运移，圈闭的连续破裂和恢复，使该系统的后期历史变得特别复杂。

2）*Orocue*含油气系统

与Lu Lura系统相比，其规模与储量相对较小，仅占盆地不到2%的储量，其分布位于盆地的西南部，烃源岩为古新世的Orocue组，油气生成并运移到卡塔通博坳陷西南部的构造圈闭中形成这个系统。

三、油气勘探开发现状与效果

1. 勘探开发概况

马拉开波盆地是世界上最有前景的含油气盆地之一，虽然它的勘探程度已经很高，但发现油气储量的前景仍然很大。

尽管马拉开波盆地勘探开发了几百年，勘探水平依然很低。直到20世纪20年代初才第一次发现西半球最大的超巨型油田——玻利瓦尔湖岸油田。20世纪50年代，勘探钻井达到高峰，到20世纪60年代开始减少。这时，盆地已处于勘探成熟阶段。近几年来，一直在盆地的委内瑞拉区进行三维地震勘探，增加的大部分储量由新油藏钻井获得。

在盆地的委内瑞拉区，20世纪80年代勘探的重点是Ceuta油田东部的油气发现和扩大油田范围。在哥伦比亚区，1962年发现了Rio Zulia油气田。最近发现的天然气/凝析油就目前来说还没有工业价值。20世纪90年代一直没有大的油气发现。

马拉开波盆地累计产油45×10^8 t以上，根据盆地的勘探远景，单井的产量低，开发总井数多种因素综合分析，估计要钻2.5×10^4口以上的生产井。1992年，在委内瑞拉区钻了354口井，其中2/3是钻在玻利瓦尔湖岸油区中。

20世纪20年代末，该盆地的日产量超过1.37×10^4 t；50年代末，日产量达高峰，约412×10^4 t。20世纪70年代初，玻利瓦尔湖岸油区产量下降了1/2，80年代产量保持稳定。

2. 储量特征及油气丰度

根据1993年对马拉开波盆地的统计，其最终可采储量油为454.3×10^6 bbl，气9 204×10^8 ft^3，其油气丰度见表3—2—6。

表3—2—6 马拉开波盆地油气丰度（1993）

类　型	油	凝析油	气	总　量
油　气　丰　度	734 673bbl/km^2	732bbl/km^2	3 455×10^6 ft^3/km^2	792 924bbl/km^2

四、深层油气田（藏）类型、分布及形成机制

1. 主要油气藏类型

圈闭类型主要是构造—地层型，而在白垩纪以前则以构造型为主。

2. 深层油气田分布规律

油田主要分布于玻利瓦尔湖岸油区，这里有超巨型的玻利瓦尔湖岸油田，聚集了盆地极大的储量。另外在盆地西南地区、西北地区亦有分布（图 3—2—5）。

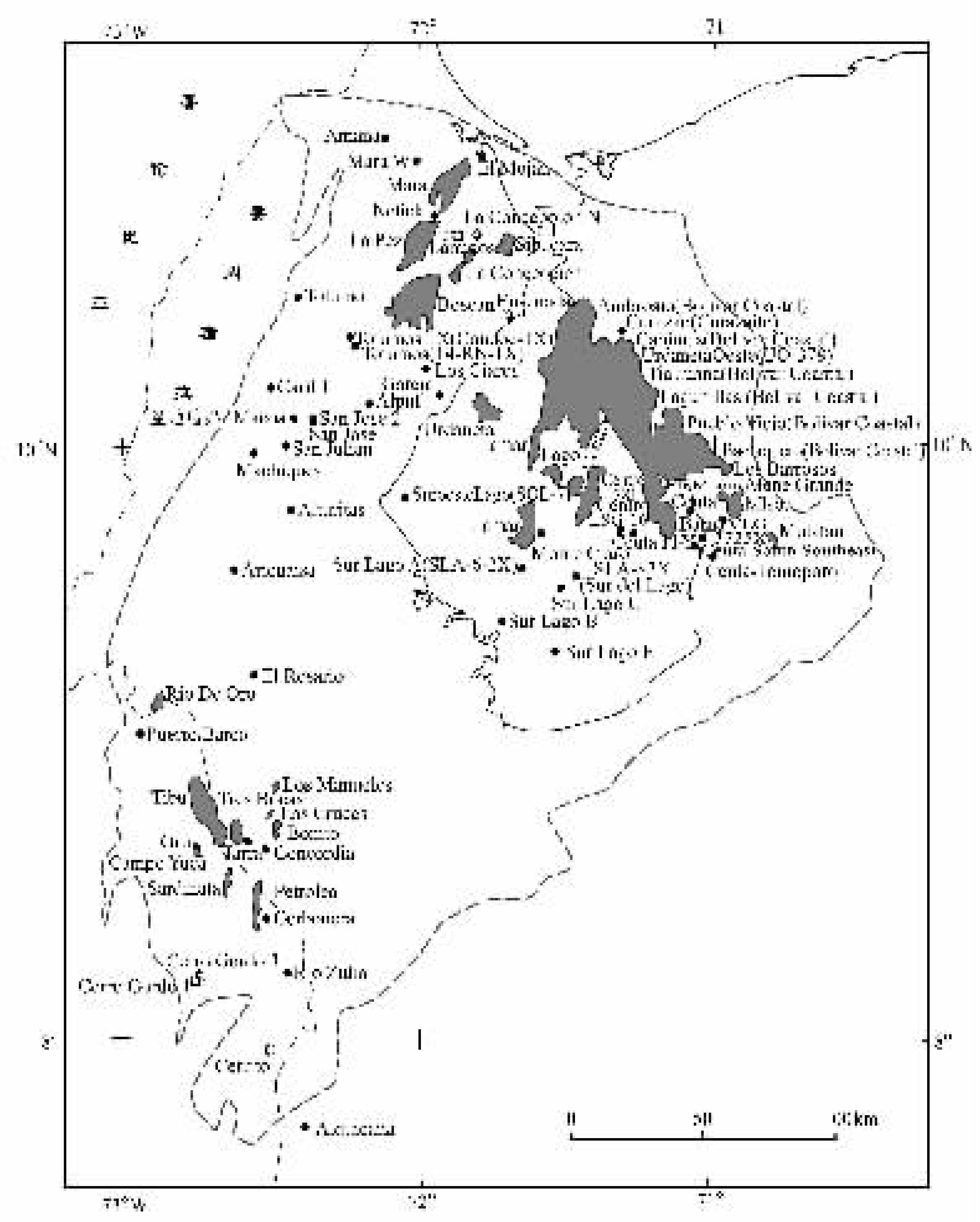


图 3—2—5　马拉开波盆地油气田分布图

（引自 Angus Findlay，Jeremy Benton，1994）

马拉开波盆地有 23 个深层油气田或发现，主要的油气田或发现见表 3—2—7。

表 3－2－7　马拉利波盆地深层油气田综合特征

油气田	深度（m）	烃类类型	海陆位置	总可采储量（10^6bbl）（油当量）	储集层	储集层岩性	含油气组合
Centro 381	3 911	油/天然气	陆上/海上	208.33	Trujillo 组	砂岩	
San Jose	4 694	油/天然气	陆上	48.83	Apon 组	灰岩	
CentroLSG－16	3 788	油	陆上	50.00	Misoa B6 单元	砂岩	
San Julian	4 968	油/天然气	陆上	105.83	Maraca 组	石灰岩	
Machiques	5 029	油/天然气	陆上	86.67	Cogollo 群	石灰岩	
Alpuf	4 831	油/天然气	陆上	182.17	Piche 段	石灰岩	白垩系构造
Sur Lago C	5 474	油	陆上	183.33	Lisure 组	石灰岩	白垩系构造
Sur Lago B	5 526	油	陆上/海上	141.67	Cogollo 组	石灰岩	白垩系构造
El Rosario	4 267	油/天然气	陆上	92.85	Aguardiente 组	砂岩	白垩系构造
Sibucara	3 719	油/天然气	陆上	48.33	Cogollo 群	石灰岩	白垩系构造
Lamar	3 810	油	陆上/海上	1 990.80	Misoa C 砂岩	砂岩	始新统地层—构造
Ceuta－Tomoporo	4 127	油/天然气	陆上	300.00	上 Misoa B（B1—B5）	砂岩	始新统构造
Ceuta South Southeast	4 496	油/天然气	陆上/海上	600.00	下 Misoa B（B6—B9）	砂岩	始新统构造
Ceuta 11－Y	4 205	油	陆上	130.00	Misoa 组	砂岩	始新统构造
Sur Lago 6X	4 390	油/天然气	陆上	23.80	上 Misoa B（B1—B5）	砂岩	始新统构造
Sur Lago E	5 340	油/天然气	陆上	275.50	Arena Basal	砂岩	渐新统构造—不整合

1）*Lamar* 油田

发现于 1958 年 11 月。位于马拉开波湖的中南部，Lama—Icotea 断层以东。长 16.0 km，宽 6.0 km，面积 96.0 km^2。目前处于生产状态。截止到 1993 年最终可采储量油 1 657.462 $\times10^6$bbl。采用的勘探方法为地震。

截止到 1992 年 12 月，共钻 224 口井，其中 82 口油井，42 口油气井，35 口干井；截止到 1992 年 12 月，已钻 121 口生产井。

该油田共有 5 套储集层。主要的储集层为下始新统 Misoa 组 C 砂岩，埋深 3 810 m（表 3－2－7）；主要为纯净的细至中粒河流—三角洲砂岩。在三角洲平原上部具有较厚的分流河道砂岩。最大总厚度为 335.3m，有效厚度 65.5～129.5 m。平均孔隙度 18%～25%，以次生孔隙为主，原生孔隙受硅质胶结影响而极大地降低。主要的烃源岩为下始新统泥岩和页岩，主要的盖层为上始新统页岩。

圈闭为南北向穹窿背斜，东、北和西以正断层为界。Misoa 产层被中新统—始新统的不整合削截，伴有储集层砂岩侧向相变。属始新统地层—构造含油气组合。

2）*Sur Lago E* 油气田

发现于 1973 年。位于马拉开波湖南部，目前为生产油气田。最终可采储量原油 125$\times10^6$bbl；天然气 9 000$\times10^8$$ft^3$。勘探方法仍为地震。截止到 1993 年 8 月共钻 7 口井，其中 4

口油井，2 口干井。

主要的储集层为下—中渐新统 Arena Basal 砂岩、河流及浅海相粗粒砂岩夹页岩。总厚度平均 51.2～154.2 m，有效厚度平均 30.5～91.4 m，埋深 5 340 m。主要的烃源岩为白垩系 La Luna 组泥质灰岩、灰质页岩和下始新统页岩。主要的盖层为下中新统页岩。

圈闭位于两向上聚敛的断层间鼻状背斜的东南翼（图 3—2—6、图 3—2—7），圈闭还受控于渐新统底部不整合面上的砂岩分布。

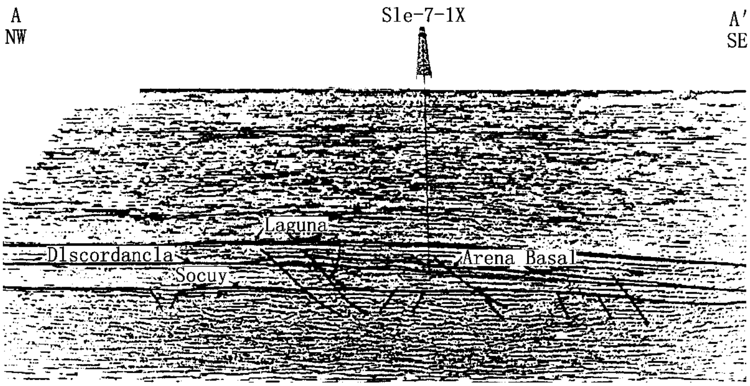


图 3—2—6　马拉开波盆地 Sur Lago E 油气田
SL—85B—135 测线地震剖面

3. 深层油气田形成机制

马拉开波盆地油气田以玻利瓦尔湖岸油田为主，其形成主要是在始新世和中新世各发生了一次大规模的构造挤压活动，从而 2 个时代的储集层形成了合适的圈闭，同时运动产生的不整合及断层又为油气运移提供了条件，这样在以前各个地质时期，主要是白垩系 La Luna 组形成的油气得以向上运移，进入始新世和中新世的圈闭之中形成大油田。

五、油气勘探的有效方法

目前马拉开波盆地勘探已进入深层，由于其为大型裂谷盆地，所以构造比较复杂，搞清其构造（尤其是局部小圈闭）至关重要，所以三维地震仍是增加盆地储量行之有效的勘探办法。

六、小结

（1）马拉开波盆地在前寒武纪形成结晶变质基地。在侏罗—白垩纪盆地发生裂陷，白垩纪至古新世，后裂谷的剖面由被动边缘（大西洋型）沉积物组成，在那里，台地上的石灰岩及富含有机质的碎屑岩与南部冈瓦纳剥蚀的海退三角洲碎屑沉积物交替沉积。古新世为非海相碎屑沉积。始新世开始了安第斯造山运动，形成了广泛的三角洲沉积体系，沉积了 Mirador 和 Misoa 砂岩储集层。中新世早期，发生了第二次挤压活动，然后发生海侵。沉积了 La Rosa 组海相及滨岸砂岩，而 Lajunlla 组的形成则标志着海退。

（2）盆地的烃源岩主要是白垩纪的 La Luna 组，它生成了盆地 90%以上的油气。

（3）储集层主要有始新统 Mirador 组和 Misoa 组砂岩，上中新统 La Rosa 组及 Lagunillas 组海相砂岩。

（4）盖层主要是全盆地范围的上白垩统卡龙组泥岩，其他有一些半区域性或局部性盖层：如始新统的组内盖层，中新统储集层之上的半区域盖层，Santa Barbara 砂岩的盖层为 Santa Rosa 泥岩。

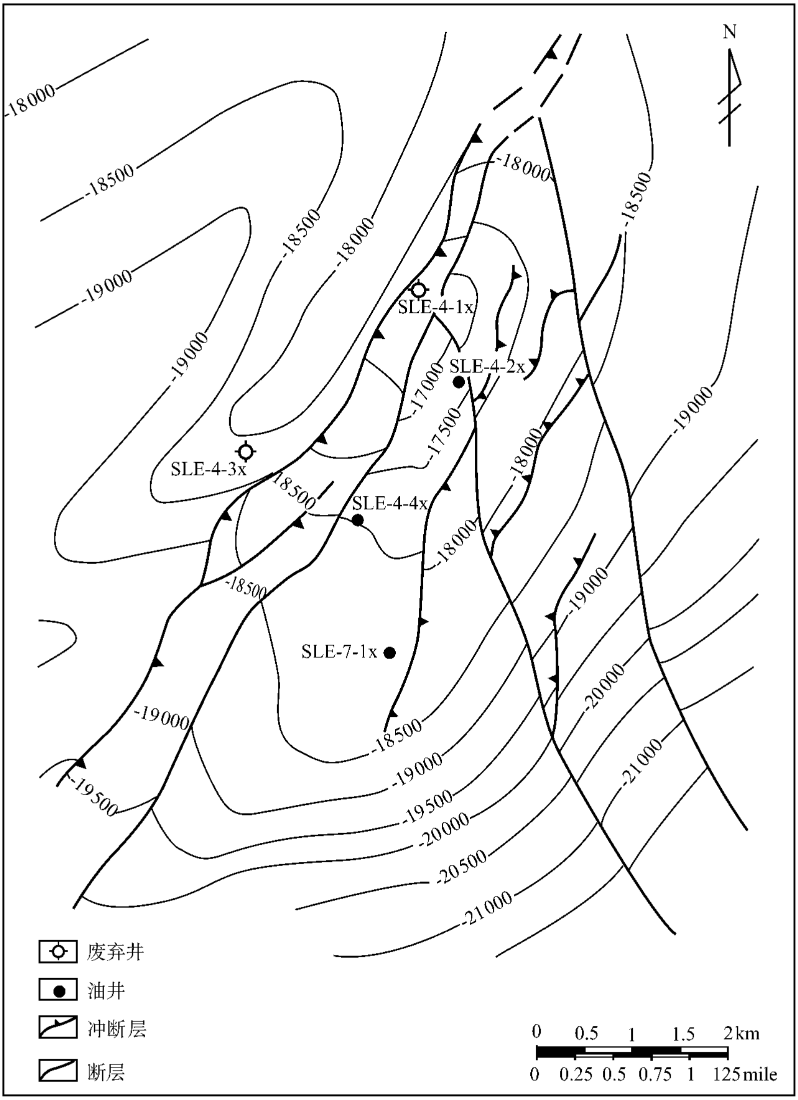


图 3－2－7　**马拉开波盆地** Sur Lago E **油气田顶面构造等值线**（ft）**图**

（**引自** Angus Findlay，Jeremy Benton，1994）

（5）**圈闭类型主要是地层和构造复合类型，而在白垩纪以前则以构造型为主。**

（6）**全盆地勘探目的层（含油气组合）主要有** 2 **个，一个是始新世的构造—地层含油气组合、构造—不整合及构造型含油气组合；另一个是上中新统的地层—构造型含油气组合。盆地含油气系统主要是** La Luna **含油气系统。盆地油气田主要分布于玻利瓦尔湖岸区。**

参 考 文 献

Alacana L. 1993. Mene Grande Field，Venezuela：Maracaibo Basin，Westem Venezuela.

In：Auofmous (ed)，American Association of Petroleum Geologists Treatise in Petroleum Geology，Atlas of Oil and Gas Fields，Stratigraphic Traps，190－205

Audemard F M. 1991. Tectonics of Wastern Veneznela, Ph. d. Thesis, 245. , Rice University, Houston, Texas

Acosta J, La Cru Z Al. 1990. Velocidades sismicas en Centa—Tomoporo, Proceediys of the V Congreso Venezolano de Geofbica, Caracas, 197—203

Andara M, Escobar M. 1990. Petroleum primary migration and expulsion in Calcareous Source Rocks: the La Luna Formation, 14RN—2X Well, La Villa Field, Maracaibo Lake Basin, Verezenla In; Anonymous (ed), Znd Latin American Organic Geochemits Congress, Abstracts, 20—21

Boesi T. 1990. Geology of the North West Flank of the Venezuela Andes and its future exploration possibilities. In Anonymous, Amcrican Association of Petroleum Geologists Annual Convention with Divisions; Technical Program with Abstrats American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 74 (5), 614

Bockmeulen H, Barker C, Dickey P A. 1983. Geology and geochemitry of crude oils, Bolivar Coastal Fields, Venczuela. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67 (2), 242—270

Brown H D. Cunningham J D, Salisch H A. 1972. South Maracaibo log analysis. The Log Analyst, 13 (3), 3—10

Donglas J G. 1940. The Lake Maracaibo Basin. The Compass of Sigma Gamma Ersilon, Menasha, 20 (3), 184—187

Garfias V R, Chapin T. 1938. Colombia and the Maracaibo Basin, Venezusla. The Science of Petroleum (Punstan and Otlers), 1, 111—117

Gatierrez F J. 1968. Subsurface study of the Bachajuero interfield Area (Miocene), Bolivar Coastal Fields, Lake Maracaibo, Venezuela. Master′s, University of. Tulsa, United-states of America

Hunter V F. 1978. Foraminiferal correlation of Tertiary mollusc horizons of the Southen Caribbean area. In Macliillavry, H. J. & Beeds, D. J. (eds), The (Caribbean Geological Conference, Geologie an Mijnbonw, 57 (3), 193—203

Jordan N. 1986. Effects of weathering of organic matter in the La Luna formation, Maracaibo Basin, Wester Venezuela. Revista Tecnica INTEVEP, 6 (1), 31—35

James H E Jr. 1977. Sedimentology of the iron — oxide — bearing upper Miocene (?) Guayabo Group in the vicinity of Cucuta, ColomJia, 273

Pufor J. 1955. Some oil — geological characteristics of Venezuea [With Discussion] . World Petroleum, 26 (6), 160

Smith J E. 1951. The cretacveous limestone prodcing areas of the Mara and Maracaibo District, Venezuela [with Discussion] . Third World Petroleum. Congresos, The Waguc, 1, 56—72

Sutton F A. 1946. Geology of Maracibo Basin, Venezuala. America Association of Petroleum Geologists Bulletin, 30 (10), 1621—1741

Tosaya C A, Nur A M, Da Prat G. 1984. Monitoring of the rmal EOR fronts in seismic methods. In: Mayer, E. H. (ed), Western Energy Frontiers, Proceediuys Annual Colifo-

nia Regional Meeting. Society of Petroleum Engineers，54，179—184

第三节　加蓬海岸盆地

加蓬海岸（Gabon Coastal）**盆地位于加蓬和赤道几内亚的海上和陆上，以及极小一部分在喀麦隆海上**（**图** 3—3—1）。**加蓬海岸盆地北部边界为** Kribi **平移断层，东部边界为前寒武系基底，南部边界为** Mayumba **高地，西部边界为陆架边缘。盆地总面积为** 181 850km^2，**其中陆上** 44 260km^2，**占** 24％；**海上** 137 590km^2，**占** 76％。

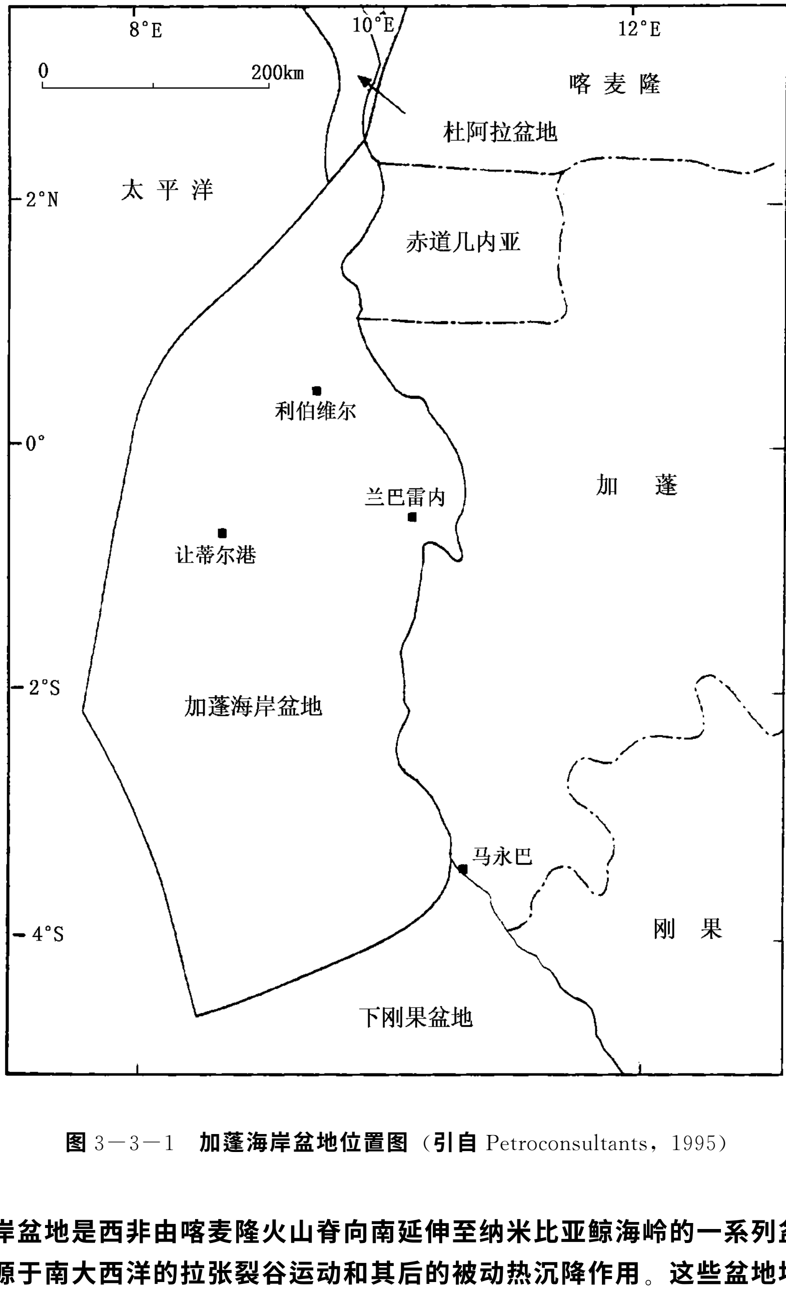


图 3—3—1　**加蓬海岸盆地位置图**（**引自** Petroconsultants，1995）

加蓬海岸盆地是西非由喀麦隆火山脊向南延伸至纳米比亚鲸海岭的一系列盆地之一。这些盆地都起源于南大西洋的拉张裂谷运动和其后的被动热沉降作用。这些盆地均发育有阿普

第阶的盐岩和 5 个连续的构造地层单元（图 3—3—2）。

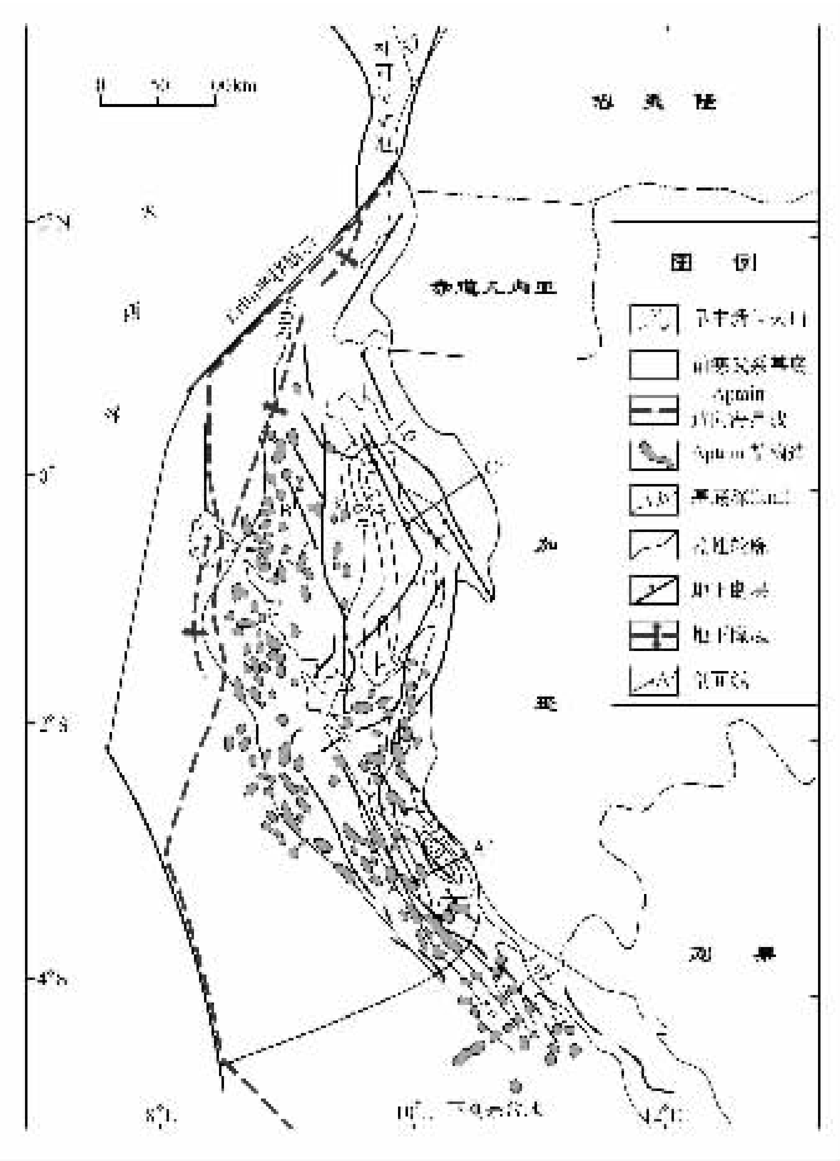


图 3—3—2 加蓬海岸盆地构造纲要图（引自 Petroconsultants，1995）

一、区域地质

1. 盆地演化

1）基底

加蓬海岸盆地内部的次盆地含有西非自晚侏罗世—早白垩世裂谷盆地开始发育之前惟一已知的陆相沉积物。这些非海相碎屑岩的范围包括从上石炭统的 Nkhom 组到二叠系 Agoula 组和三叠—侏罗系 Mvone 组的地层。其中，上石炭统为冰川沉积；Agoula 组为陆相与湖相白云岩和石膏沉积；Mvone 组为河流砂岩和红到紫色页岩沉积。盆地其他地区裂谷层序直接覆盖在前寒武系基底之上。

2）**同生裂谷早期：晚侏罗世—早白垩世**（152.1—137.5 *Ma*）

加蓬海岸盆地发育始于晚侏罗世—早白垩世，受南美洲与非洲分离的张性作用，形成了一个北西—南东走向的内克拉通盆地。最初，盆地成为陆源河流粗粒碎屑沉积的中心。南部的沉积物由底部砂岩组的辫状河砂岩和砾岩组成。向上变为中至细粒的净砂岩和深湖相 Kissenda **页岩。**

3）**同生裂谷晚期：纽康姆晚期—巴列姆晚期**（137.5—124.5 *Ma*）

在 Kissenda **页岩之上为多种岩相的** Melania **组，它表明地壳上升并侵蚀成不规则地形。**Melania **组主要为湖相页岩和粉砂质页岩。在** Melania **组下部的** Lucina **砂岩段局部含浊积扇成因的砂体，而该组上部则为厚层的冲积扇沉积。到巴列姆的中期，大地构造运动停止，黑色含有机物的页岩覆盖了早期的地层单元。上** Melania **组的这套页岩构成加蓬海岸盆地主要的烃源岩。**

巴列姆晚期，盆地的沉积中心向西迁移，沉积了 2 000～3 000 m **的** Dentale **组和** Crabe **组地层，沉积环境以湖相三角洲为主。**Crabe **组为湖相页岩沉积，**Dentale **组主要为粗粒碎屑沉积，其上部以河流砂岩为主。这套非海相的裂谷沉积之后，沉积了广泛分布的巴列姆晚期的准平原沉积。**

4）**热沉降早期：阿普第中—晚期**（117.5—113.1 *Ma*）

巴列姆晚期的准平原沉积之上是阿普第阶的海侵层序，顶部的 Gamba **组为河流砂岩夹□湖沉积。其上为阿普第阶** Ezanga **组的蒸发岩，含巨厚的盐层。随着南大西洋的进一步加深，海水进入盆地，盐类沉积终止，从而为盐体向下滑动和盐体构造的发育提供了重力推动力。**

盆地北部发育不同的地层。由巴列姆晚期—阿普第早期的 N'Toum **组扇三角洲浊积岩，其上为** Coniquet **组细—中粒砂岩，并直接被** Como **组覆盖了，相当于该盆地南部的** Gamba **组。**

在南部阿普第期海侵之前同生裂谷断裂活动停止，而北部同生裂谷断裂活动到阿普第中期停止。同生裂谷期的断裂活动在终止时间上的差异说明南太平洋是由南向北张开。因此，引起裂谷发育终止和盆地发育的由南向北变新。

5）**热沉降中期：阿尔布期至始新世中期**（113.1—42.1 *Ma*）

热沉降中期单元主要由前积层序组成。下部为 Madiela **组海相碳酸盐岩。其中一部分沿西非海岸发育于碳酸盐台地。向东为台地，向西为开阔的海洋环境。**

沿台地的西缘，Madiela **组的下部地层主要是由白云岩化的碳酸盐岩组成，向东以□湖相沉积为主。**Madiela **组的中部地层以开阔海沉积为主，局部发育鲕粒泥灰岩。**Madiela **的上部为海退碎屑岩，包括粉砂岩和细至粗砂岩，以及□湖相页岩和白云岩。**

西诺曼海侵沉积（**包括** Cap Lopez、Ekouata **和** Ndougou **组**）**不整合于** Madiela **组之上。**Ekouata **和** Ndougou **组为浅水碎屑岩沉积，而** Cap Lopez **组主要由深水页岩组成，含有砂岩储集层。**

海侵持续到土仑期，以 Azile **组为代表。在台地上，**Azile **组由巨厚的含化石碳酸盐岩** Sibang **石灰岩段组成，局部含砂，以粉砂质页岩结束。向西进入深水盆地，**Azile **组变为页岩和碳酸盐岩地层，含丰富有机质的褐色页岩和巨厚的白垩层。热沉降单元中首次出现浊积沉积。**

其上为科尼亚克阶到桑托阶的 Anguille **组沉积。上下** Anguille **组之间为科尼亚克阶末期的不整合。在台地和盆地中，上部桑托沉积含有巨厚的碎屑岩层序，构成了加蓬最重要的盐上储集层。盆地中部不整合面之上沉积有巨厚的浊积岩体。**

麦斯特里希特初期海平面降低，沉积了 Ewongue **组的** Batanga **砂岩。这个复杂的碎屑岩体是盐上最重要的储集层。海进结束了** Batanga **沉积，海进持续到古新世。海进期间，台**

地上为陆相 N'Goumbi 组沉积，在狭窄的上白垩斜坡沉积了 Weze 组海相砂岩。再向西，盆地中沉积了 Ewongue 组海相页岩。

这个沉积系统连续进积，直到古新统的 Ikando 组。古新世至始新世早期最大的海进沉积了 Ozouri 组生物成因的燧石和碳酸盐岩。这些岩层为高孔低渗型储集层（除裂缝层）。Ozouri 组可划分为 3 个沉积带：①东部台地碳酸盐岩和碎屑岩沉积；②底部氧化环境中的燧石夹生物扰动透镜状页岩沉积；③中间为巨厚还原环境沉积。其上的 Animba 组是经轻微侵蚀作用后的页岩。

6）热沉降晚期：中新世至全新世（23.3—0 *Ma*）

由于盆地向西倾斜，同时渐新世海水退出，出现了大范围的侵蚀，发育侵蚀河道和峡谷，其后充填了中新统海相水道砂和浊积岩。在此期间沉积的地层包括 Mandorove、Mbega、Tchengue 和 Alosso 组。

2. 地层简介

加蓬海岸盆地发育中生界上侏罗统—白垩系、第三系和第四系地层（表 3—3—1、图 3—3—3）。

（1）上侏罗统 Basal 砂岩组：砂岩和砾岩；400 m。

（2）下白垩统中下部：湖相页岩；1 800～2 200 m。向上为湖相三角洲和辫状河沉积；2 130～3 130 m。

（3）Ezanga 组：岩盐；800 m。

（4）下白垩统上部 Madiela 灰岩组：海相碳酸盐岩；240～2 050 m。

（5）上白垩统：海进碎屑岩和浊积岩；1 050～1 600 m。

（6）下第三系：砂岩、页岩和碳酸盐岩；3 050 m。

（7）中新统—全新统 Mandorove、Mbega、Tchengue 和 Alosso 组：泥岩和页岩；3 000 m。

二、含油气性

1. 烃源岩

盆地有两套主要烃源岩（图 3—3—4）。

盐下烃源岩为 Kissenga 和 Melania 地层。Kissenga 组的总有机碳为 1.5%～2%，为陆相成因，以Ⅲ型干酪根和过渡的Ⅱ—Ⅲ型干酪根为主，主要为生气。Melania 组烃源岩的总有机碳含量为 6.1%，最高达 20%。以Ⅰ型干酪根和过渡的Ⅰ—Ⅱ型干酪根为主，为生油母质。南部的生油窗口为 1 000～2 000 m，镜质组反射率为 0.5%～1.0%。局部的地温梯度较高，这可能反映了裂谷期较高的温度梯度，或上覆地层遭受大量的侵蚀。

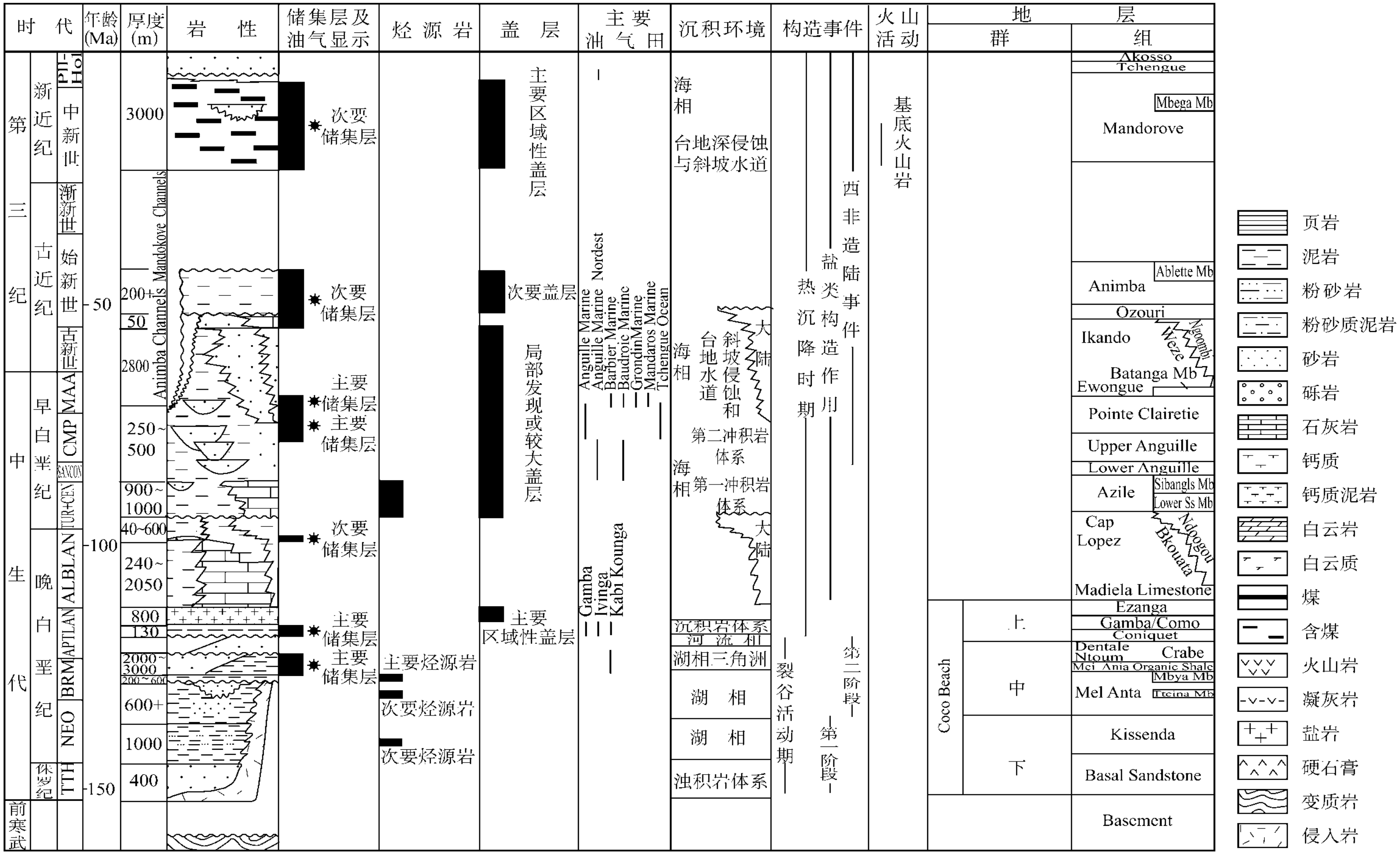
盐后烃源岩包括局部的 Madiela 和 Cap Lopez 层，区域上中等到好的烃源岩有 Azile 组和 Anguille 地层。Azile 组可能是海上油田的最重要烃源岩。总有机碳含量平均为 3%～5%，以Ⅰ型和Ⅱ型干酪根为主，局部有过渡的Ⅱ—Ⅲ型干酪根。在盆地西北部海上 Port Gentil 地区，因其上沉积了麦特里希特阶三角洲，具有足够的上覆层而成为成熟烃源岩。向南和向东，Azile 烃源岩仅在局部的构造低部位成熟。Anguille 和 Pointe Clairette 组中也含有 Azile 型的烃源岩，呈不规则分布。中新统 Mandorove 组地层含煤，烃源岩的总有机碳含量为 4%～5%或更高，全盆地范围内未成熟。其他盐上烃源岩到中新世之后才进入成熟阶段。

2. 储集层

1） **盐下储集层**

盐下砂岩是结晶岩和变质岩经短距离搬运后沉积的，含有大量的岩屑、矿物和粘土成分，

表 3—3—1　加蓬海岸盆地综合地层（引自 Petroconsultants，1995）



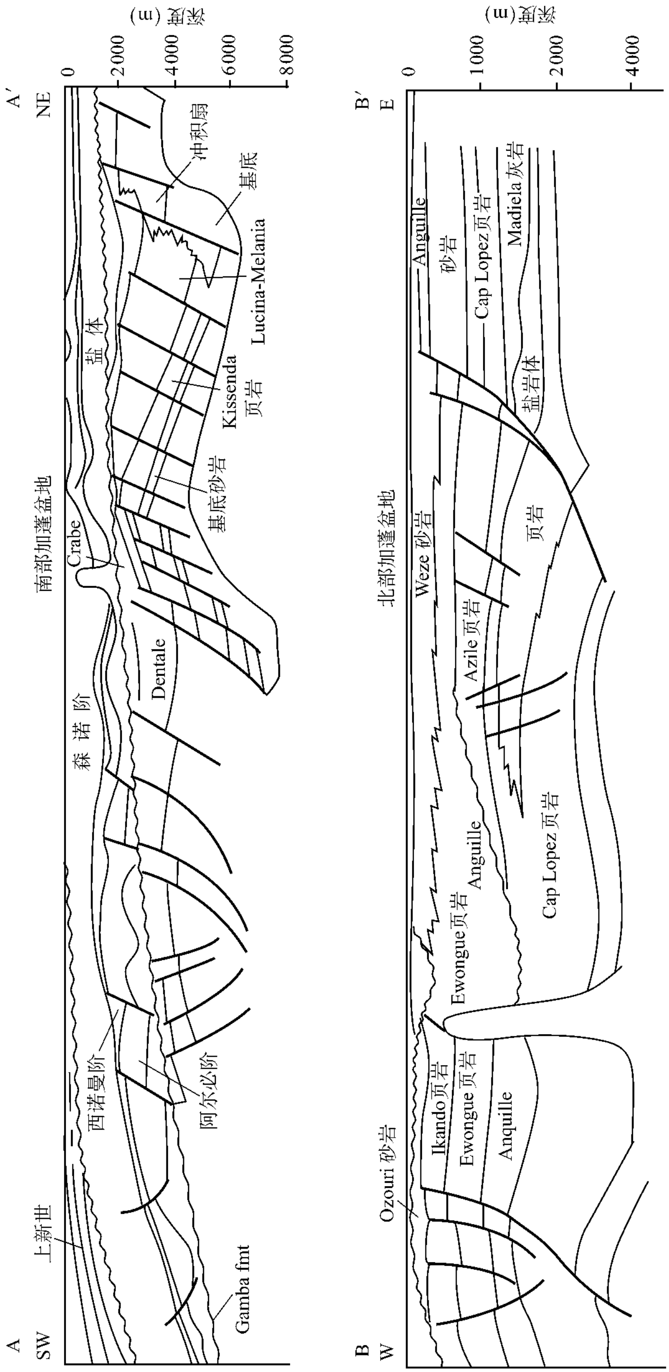


图 3－3－3　**加蓬海岸盆地南部和北部区域横剖面**

（**据** Petroconsultants，1995 **修改**）

（**剖面位置见图** 3－3－2）

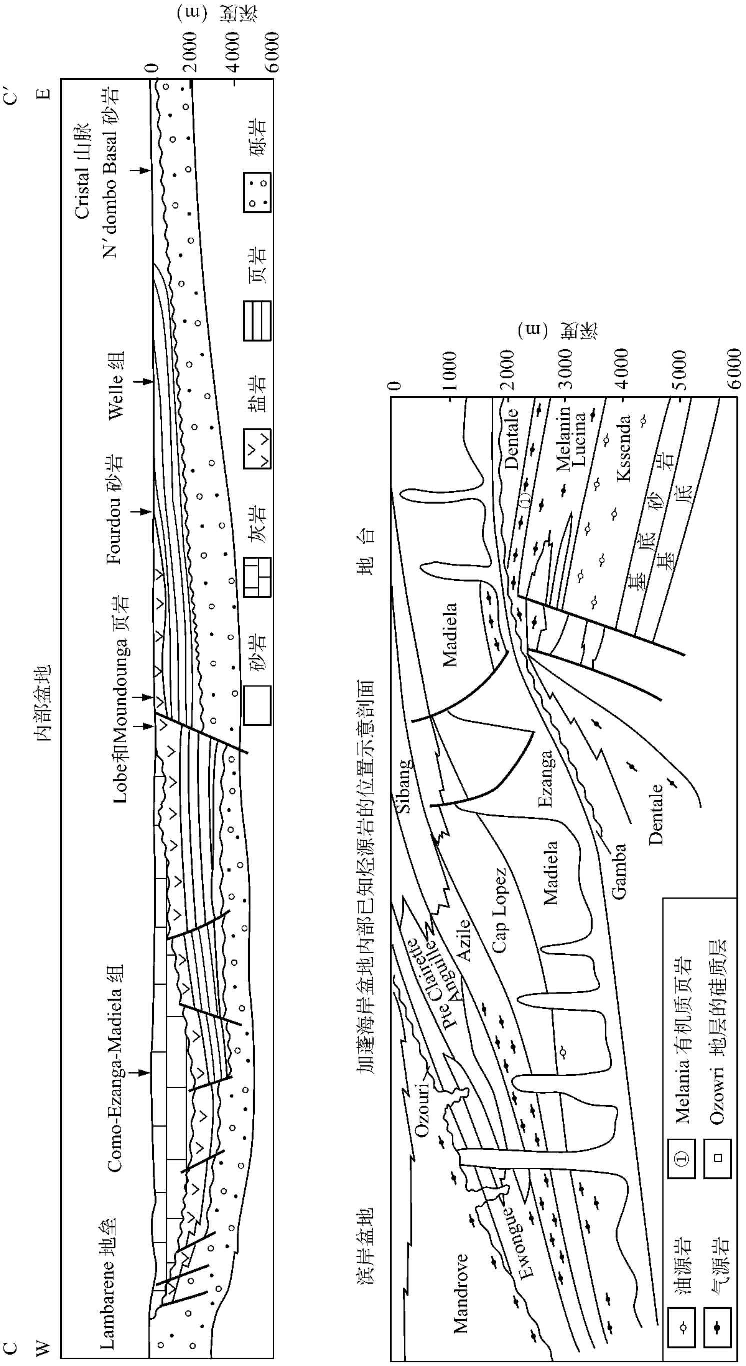


图 3－3－4　**加蓬海岸盆地区域横剖面及已知烃源岩位置图**

（**据** Petroconsultants，1995 **修改**）

（**剖面位置见图** 3－3－2）

成岩作用使孔隙度和渗透率极大下降。盐下储集层包括 Basal 砂岩、Melania 砂岩和 Lucina 砂岩，以及 Dentale 砂岩和 Gamba 砂岩。这些储集层都属陆相河流和湖泊环境。Lucina 砂岩是由泥质和细至极细的含云母砂岩组成，厚 70～80 m。受石英加大和钙质胶结等成岩作用的影响，2 000 m 深度时的孔隙度和渗透率分别下降到 15%和 10×10^{-3} μm^2。

Melania 组砂岩为湖相浊积扇复合体沉积。受粘土充填和钙质胶结的影响，随着埋深加大，物性急剧变差。

Dentale 组为巨厚的河流和湖泊相沉积，沿盆地纵轴由北向南进积。下部页岩含量较上部高。因此，上部的储集层发育好，尤其是位于盆地轴部。上部的砂岩厚度可达 200 m。向南砂岩物性和厚度急剧减小，因此盆地中部和南部仅有 Dentale 组下部储集层。储集层孔隙度和渗透率随深度增加而降低。

Gamba 砂岩储集层位于该组地层的底部，为辫状河沉积，底部砾岩向上变为细—粗粒砂岩。砂岩厚度 0～50 m。向海方向，该组地层减薄为不到 10 m 的砂质页岩。由于该地层区域上分布范围广而成为主要的盐下目标储集层，其上的蒸发岩阻止油气进一步向上运移。

2）盐上储集层

加蓬海岸盆地共发育有 6 套盐上储集层：

土仑阶 Azile 组下砂岩段：由 100～150 m 厚的钙质、泥质粉砂岩和砂岩互层组成，夹石灰岩。

森诺阶 Anguille 和 Pointe Clairette 组储集层为浊积扇层序，底部为远端扇，最上部为近源相。砂岩净厚度达 10～100 m。受同沉积盐层流动的影响，砂岩厚度发生急剧变化。

森诺阶 Batanga 砂岩储集层是一系列粗粒块状浊积扇沉积，面积达 5 000 km^2。砂岩净厚度高达 200 m，单个储集层厚度可达 15 m，同沉积盐层流动影响着砂岩厚度的变化。

古新统 Ozouri 组裂缝燧石储集层是深水沉积，后生裂缝是惟一的渗透通道，储集层厚度 30～40 m。

中新统 Mandorove 组河道砂岩储集层的单层厚度可达 20～25 m，累积厚度可达 50～60 m。纯净未固结砂岩具有极好的孔隙度和渗透率，砂岩在水道中呈不规则分布。

3. 盖层

Ezanga 组盐岩是盐下储集层的区域性盖层。主要的盐上盖层为土仑阶的 Azile 组、森诺阶的 Anguille 和 Pointe Clairette 组、麦斯特里希特阶的 Ewongue 组、古新统的 Ikando 组和中新统的 Mandorove 组。它们大都是深水页岩，形成包括补给河道在内的浊积扇复合体储集层的盖层。

4. 油气生成与运移

盐下油气运移开始于上覆地层厚度达到 1 000 m 时。盐上上白垩统烃源岩的运移开始于早第三纪，并延续到现今。上白垩统烃源岩生成的油气进入上白垩统和第三系浊积岩及深海扇砂岩储集层的路径可能是开启的断层和水下河道浊积充填沉积。

没有发现三次运移的证据。但在第三纪，尤其是渐新世期间，沉积地层发生向西的倾斜，很可能引起油气从聚集的圈闭中溢出。

盐的运动确定了上白垩统浊积岩的分布，增加了局部的热传导，加速了烃类成熟和构造起伏。因此，盐的运动影响油气的运移方向。

5. 含油气组合

加蓬海岸盆地有两种主要的构造形式：①裂谷开始期受北西—南东向的拉张作用形成的

掀斜断块、披覆构造；②热沉降期盐丘和盐体运动派生的构造，如盐背斜和龟背构造。加蓬海岸盆地有下白垩统、上白垩统和第三系构造和构造—地层含油气组合。

（1）下白垩统盐下组合。包括阿普第阶构造油气藏、阿普第阶构造—地层油气藏和阿普第阶地层油气藏。下白垩统含油气组合的储集层为河流相沉积，掀斜断块上覆蒸发岩盖层。烃源岩为盐下的湖相地层。这是加蓬海岸盆地最重要的含油气组合，具有加蓬海岸最大的油田。目前已有 22 个油气田或发现，储量为 1348×10^6bbl 油当量，占盆地总发现储量的 43％。

（2）阿普第—西诺曼阶含油气组合。该地层直接覆盖在阿普第阶盐层之上，仅有 3 个较小的油气田。全部为构造圈闭。

（3）土仑—坎佩尼阶含油气组合。包括构造和构造—地层组合。

（4）麦斯特里希特阶——更新统含油气组合。包括构造、构造—地层和地层组合。

（5）始新统含油气组合。

（6）中新统含油气组合。

以上盐上上白垩统含油气组合的储集层是海相浊积岩和深海扇。第三系含油气组合的储集层除 Ozouri 裂缝燧石外，都是浊积成因的海相地层。两者的烃源岩为上白垩统的海相页岩，与盐运动相关的构造和河道充填形成圈闭。森诺阶和中新统的海相页岩为盖层。加蓬海岸盆地具有良好的勘探潜力，在已探明的油气聚集带中，下白垩统盐下油气聚集带剩余的潜力最大，上白垩统盐上油气聚集带已处于勘探成熟期。

6. 含油气系统

该盆地有 2 个含油气系统，它们被阿普第阶区域性盐岩盖层所分隔。

盐下的含油气系统由下白垩统湖成烃源岩生成的油气运移进入被海相蒸发岩封闭在掀斜断块上的河流砂岩储集层，以及上覆海相蒸发盐盖层组成。

盐上含油气系统以土仑阶海相烃源岩生成的油气运移进入盐丘构造上首先被封闭的储集层为代表，主要储集层为浊积岩。

三、油气勘探开发现状与效果

1. 勘探开发概况

1）加蓬

加蓬海岸盆地在加蓬区的勘探已达中等成熟阶段，新油田初探井的钻井密度为 335 口/km^2，地震测线密度为 0.8 km^2/km。

20 世纪 30 年代早期开始地面地质和地球物理评价调查。1934 年钻第一口探井。现已钻约 652 口探井，钻井成功率为 22％。50％以上的发现规模均为小型或非常小型。盆地最大的油田是壳牌公司作业的 Rabi-Kounga 油田，它是 1985 年在陆上发现的，储量为 $11\ 644\times10^4$ t，约占盆地石油储量的 27％。

最终可采储量 2993.9×10^6bbl 油和 $7725\times10^8ft^3$ 天然气。截至 1993 年底已累计生产 1740.9×10^6bbl 油和 $2654\times10^8ft^3$ 天然气。

2）赤道几内亚

加蓬海岸盆地在赤道几内亚区的地震测线不超过 10 000 km，只钻了 5 口井。勘探程度表明属不成熟勘探区。

3）喀麦隆

加蓬海岸盆地在喀麦隆区没有进行过勘探。

加蓬海岸盆地目前只在加蓬区有开发和生产活动。自1956年获得第一个发现以来，已获得的发现总数达114个。1956年开始陆上开发钻井。至1995年3月，已钻约458口井。目前，有埃尔夫加蓬和壳牌两家作业公司从事生产活动。

埃尔夫加蓬公司于1962年在海上获得发现后，即开始在Anguille海上油田进行开发，至今已在海上钻了332口井。

石油生产始于1957年，20世纪六七十年代产量增长平稳。尽管后来开发了更多的油田，但20世纪80年代初产量开始下降，自1988年生产水平一直维持在19 137～20 095 t/d。1988年几个新油田投产，其中包括Rabi Kounga大油田。1989年初，日产量增加了约8 246 t。1993年43个油田的石油产量共达到41 164 t/d，其中Rabi Kounga油田的产量占总产量的58%。1966年开始采用各种提高采收率技术。

1958年Lopez Sud气田开始天然气开发。1年后N′Tchemgue气田开始投产。

加蓬海岸盆地加蓬区陆上大部分覆盖着森林和沼泽，给勘探带来了极大的困难。地貌条件大都不利于油气生产，且缺少基础设施，单井产量低，50%以上的发现规模都很小。不过，加蓬海岸盆地油田水体较浅，油藏埋深浅至中等，油质轻，在深水区勘探利益分配比较优惠，这些因素都对勘探成本有积极的影响，是石油开发和生产的有利因素。

2. 储量特征及油气丰度

根据1995年3月对加蓬海岸盆地所有油气田和发现的统计，油气田和发现仅分布在加蓬境内。最终可采石油储量为2 993.9×10^6 bbl，天然气7 725×10^8 ft^3，其含油气丰度见表3—3—2。

表3—3—2　加蓬海岸盆地油气丰度

类　型	油和凝析油	天然气	总　量
油气丰度	16 464bbl/km^2	4.25×10^6 ft^3/km^2	17 172bbl（油当量）/km^2

四、深层油气田（藏）类型、分布及形成机制

1. 主要油气藏类型

加蓬海岸盆地的油气藏类型主要为掀斜断块的构造—地层圈闭，盐的运动对圈闭的形成具有重要作用。

2. 深层油气田分布规律

主要分布于加蓬境内，受断裂带控制（图3—3—2）。

加蓬海岸盆地有1个深层油发现——Grand Large Nkendi Marin 1，发现于1985年2月，水深163 m，这是一个小的无商业价值的发现，采用的勘探方法为地震。

主要的储集层为下白垩统阿尔布（Albian）阶的Madiela组Azingo段浅海碳酸盐岩，埋深3 750 m（表3—3—3）。烃源岩可能是Melania组含有机质页岩。截至1992年9月仅钻1口井。

表3—3—3　加蓬海岸盆地深层油气田综合特征

油气田发现名称	深度（m）	烃类类型	海陆位置	总可采储量（油当量）（10^6 bbl）	储集层地层	储集层岩性	成藏组合
Grand Large Nkendi Marin 1	3 750	油	海上	0.100	Azingo段	碳酸盐岩	Albian—Cenomanian构造

3. **深层油气田形成机制**

圈闭为与盐体运动有关的背斜构造。

五、小结

（1）**晚侏罗世南大西洋的扩张形成了北西—南东向的盆地，沉积了陆相的粗碎屑岩。进一步的拉张形成一系列与海岸平行的地堑和地垒。在纽康姆**（Neocomian）**末期，进入第二次主要的裂谷期，形成了明显的不整合。在深湖中沉积的含沥青泥灰岩构成了主要的区域性烃源岩。周围的碳酸盐岩形成良好的储集层。这一非海相的裂谷沉积之后，巴列姆**（Barremian）**晚期有一广泛的准平原化作用。之后为阿普第期的海进砂岩沉积，形成了良好的储集层。之后沉积了阿普第阶的蒸发岩，形成巨厚的岩盐层。南大西洋的加深结束了蒸发岩的沉积，并形成岩盐沿斜坡向下的重力移动和盐构造。在区域性西诺曼阶的不整合之上，为土仑阶富含有机质的泥灰岩。晚白垩世和第三纪，南大西洋进一步加深，加剧了盐层向下倾方向的运动。**

（2）**两套烃源岩分别为：盐下** Barreman **组和** Melania **组湖相页岩，生油窗口为** 1 000～2 000 m；**盐上土仑组和** Azile **组海相页岩，中新世进入成熟。**

（3）**河流相阿普第阶** Gamba **组和** Dentale **组砂岩是主要的盐下储集层，并且是加蓬海岸盆地最重要的储集层。森诺**（Senonian）**组浊积岩是主要的盐上储集层，并在** Gentil **港海上的扇复合体储集层发育最好。**

（4）**加蓬海岸盆地的油气田和发现仅分布在加蓬境内，仅有** 1 **个深层发现。**

（5）**加蓬海岸盆地有** 2 **个含油气系统，分别是盐下和盐上含油气系统，它们被阿普第阶的区域性盐岩层所分隔。**

（6）**主要的盐下构造为掀斜断块，主要的盐上构造为由盐运动形成的高点。最终可采石油储量为** $2\ 993.9\times10^6$ bbl，**天然气** $7\ 725\times10^8$ ft^3。

参 考 文 献

Akanni F. 1998. Structural styles in deep offshore West Africa: Pt 2, Offshore Int, Vol. 58, No. 4, 88—91

Goodall J G S, Coles G P, Whitaker M F, *et al*. 1991. Palynofacies and micropalaeontological study of the pre-salt formations of the South Gabon Subbasin and the Congo Basin, Elf Aquitaine Mem, No. 13, 365—399

Giroir G, Nahon D, Merino E. 1989. Diagenesis of cretaceous sand stone reservoirs of the South Gabon Rift Basin, West Africa: Mineralogy, Mass Transfer, and thermal evolution. J Sediment Petrology, Vol. 59, No. 3, 482—493

Herner R R. 1985. The Gabon Basin: Its regional setting with respect to onshore basement tectonic elements as interpreted from side-looking airborne radar imagery. 4th Environ Res Inst Mich Et Al Int Remote Sensing Environ theMatic Conf (San Francisco, Calif, 4/1—4/85), Vol. 1, 31—47

Herner R R. 1992. The Gabon Basin: Its regional setting with respect to onshore basement tectonic elements as interpreted from side—looking airborne radar imagery. Remote Sensing (Aapg Treatise Petrol Geol Reprint Ser No. 19), 339—355

Meyers J B, Rosendahl B R, Austin J A Jr. 1996. Deep-penetrating McS (Multichannel

Seismic Reflection) Images of the South Gabon Basin: Implications for Rift Tectonics and Post-Breakup Salt Remobilization, Basin Res, Vol. 8, No. 1, 65—84

Reyre D. 1984. Petroleum characteristics and geological evolution of a passivemargin. Examples of the Lower Congo-Gabon Basinbull Centres Rech ExPlor-Prod, Elf-Aquitaine, Vol. 8, No. 2, 303—332

Rasmussen E S. 1994. Structural evolution and sequence formation offshore South Gabon during the Tertiary. Tectonophysics, Vol. 266, No. 1—4, 509—523

Smith R D A. 1995. Reservoir architecture of Syn-Rift Lacustrine turbidite systems, Early Cretaceous, Offshore South Gabon, Hydrocarbon Habitat in Rift Basins (Geolsoc London Spec Publication No. 80), 197—210

Storzer D. Selo M. 1984. Toward a new tool in hydrocarbon resource evoluation: the potential of the apatite fission track chrono-thermometer, Inst Francais Du Petrole Et Al therm Phenomena In Sediment Basins Int Colloq (Bordeaux, fr, 6/7—10/83)

Teisserenc P, Villemin J. Sedimentary basin of Gabon — geology and oil systems. Divergent/Passive Margin Basins (Aapg Mem no 48), 117—199

第四节　尼日尔三角洲盆地

尼日尔三角洲（Niger Delta）盆地位于西非大陆边缘，包括尼日利亚海岸及陆架部分、喀麦隆西部及赤道几内亚西北部比奥科（Bioko）岛的海域。盆地西部边界为贝宁海湾，东部为喀麦隆火山脊，北部主要以阿南布拉盆地为界（图 3—4—1）。总面积为 171 580 km^2，其中陆上面积 80 020km^2，海上面积 91 560 km^2。

一、区域地质

1. 盆地演化

尼日尔三角洲的发生、发展，与几内亚海湾的形成密切相关。几内亚海湾的出现又是在白垩纪早期非洲板块与南美洲板块分离的产物。随着几内亚海湾的形成，尼日尔三角洲在北东向与北西向两组断裂制约下，于晚白垩世开始出现，但三角洲的主要发育时期是在第三纪，现代仍继续在向海外发展。其演化史可划分为 2 个阶段。

1）中生代拉张期：中侏罗世至白垩纪末（170—65 *Ma*）

随着盆地拉张伴随着热沉降和进积作用的开始，早白垩世时在西非地区主要是生成了三联点，初期（距今 145—125 Ma）呈 rrr 型，而后迅速演变为标准的 PFr 型。至白垩纪欧特里沃期（距今 120 Ma），大陆地壳分离，最后扩张产生了转换断裂，在断裂的作用下进而演化为盆地，包括有 2 种盆地类型：一种是盆地边界线与几内亚海湾早期扩张方向接近垂直的裂谷盆地；另一种是盆地边界线与几内亚海湾早期扩张方向近于平行的转换盆地。

尼日尔地区在原始倾斜的基底上，于晚白垩世时期开始形成三角洲。

晚白垩世时，当洋壳冷却，大陆边缘的沉积作用还未结束时，于第三纪古新世早期发生了一次大规模海侵，在广大范围内沉积了伊莫页岩，掩盖了原始的尼日尔三角洲。并在阿南布拉、奥尼查、阿菲波和伊康 4 个地区形成了沉积中心。

2）新生代后裂谷坳陷期：晚古新世至今（60—0 *Ma*）

古新世至始新世时，尼日尔三角洲略具雏形，保留了 3 个沉积中心，在大部分地区沉积

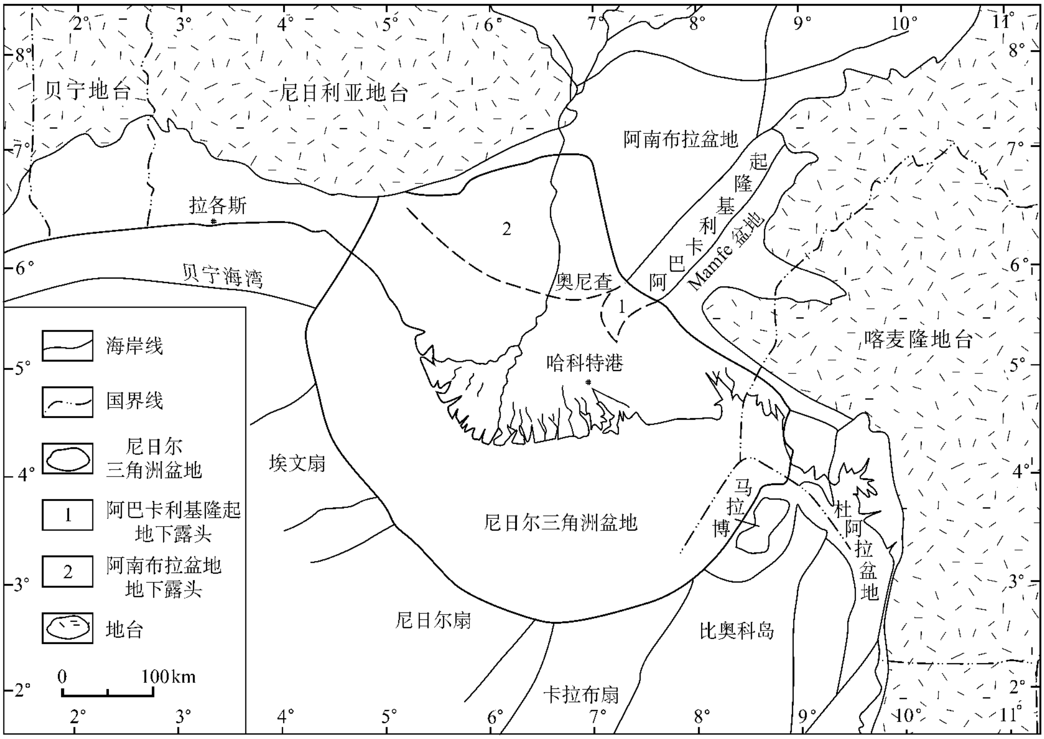


图 3—4—1　**尼日尔三角洲盆地位置图**（**引自** Petroconsultants，1995）

了海相页岩。

始新世时，由于三角洲西北部的贝宁翼部和卡拉巴尔翼部受到造陆运动的影响而抬升，沉积范围有所扩大，同时开始有生长断层出现。

渐新世至中新世初，由于物源供应充分，沉降幅度又增大，从而堆积了一套巨厚的沉积物，使三角洲广泛发育。

中新世是三角洲发展的一个转折时期，也是大量滚动背斜、泥底辟构造形成的阶段。由于三角洲东、西部合并，成为一个统一、高能、建设型的朵状三角洲体系，加之推进速度缓慢，物源极丰富，在重力作用下，同生断层异常发育，于下降盘相应伴生了大量的滚动背斜。在喀麦隆地区由于“玄武岩”风化，形成的蒙脱石粘土和以酸性为主的基底混杂岩风化后形成的大量高岭土，被掩埋在快速推进的三角洲复合体之下，发育了大量的泥底辟构造带。

晚中新世至上新世时，三角洲复合体继续向前推进，在东部海上形成了一个大的沉积中心。上新世至更新世时，三角洲复合体的推进速度减慢，在三角洲前缘区出现了短暂的平衡，泥底辟构造停止了发育。

尼日利亚陆区的基底是由晚前寒武纪变质岩组成的古老地块，属西非地盾的一部分。几内亚海湾系由中—新生代以前的洋壳组成。

尼日尔地区于早白垩世，在北东—南西向和北西—南东向两组断裂控制下形成了坳陷，其特征为北高南低，中间凹下。

第三纪期间，由尼日尔河—贝努埃水系和鲁克斯河携带的大量砂、泥向南汇流注入大西洋，在尼日利亚南部海岸形成了一个巨大的海退型、前积式建设性三角洲。在原始基底斜坡上，由于基底断裂的不断活动，加之沉积速度快，三角洲推进速度慢，在重力作用下，产生

了一系列走向大致平行海岸线的同生断裂带（图3—4—2）。

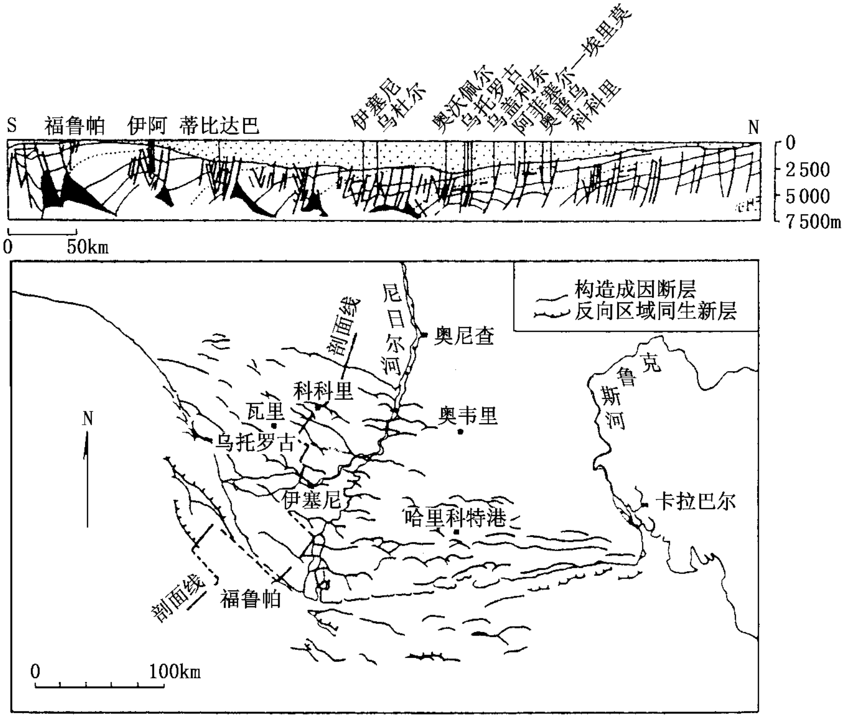


图3—4—2　尼日尔三角洲复合体区域横剖面图（引自庞维华、潘校华，1998）

同生断层平面形态一般呈弧形，凹面朝向海洋，断层面上陡（50°～60°）下缓（10°），断距上大下小，向深部消失。随着同生断层的形成，在其下降盘伴生了滚动背斜。

几内亚海湾由于水介质深，沉积物厚度大，中部厚度在5 000～7 000 m左右。除粘土岩发育外，深部还可能有盐岩类沉积。地下深处由于温度、压力增大，变为可塑性物质时，当受到重力或差异压实作用后，可形成泥底辟或盐构造（图3—4—3）。

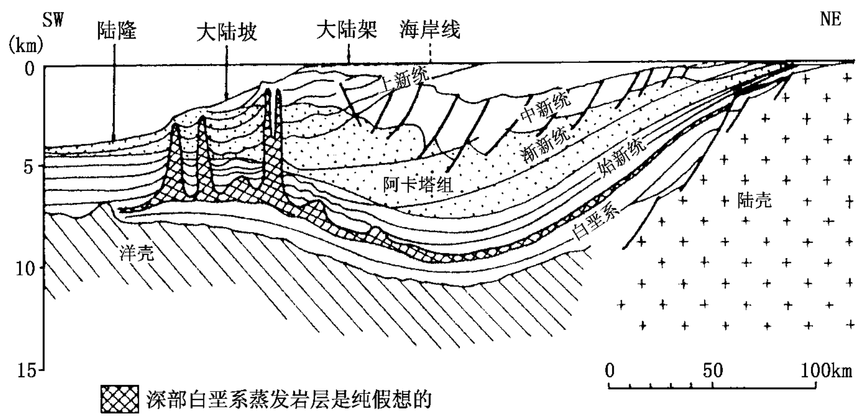


图3—4—3　尼日尔三角洲复合体横剖面示意图（引自庞维华、潘校华，1998）

尼日尔三角洲盆地可划分为以下 3 个构造带（图 3—4—4）：

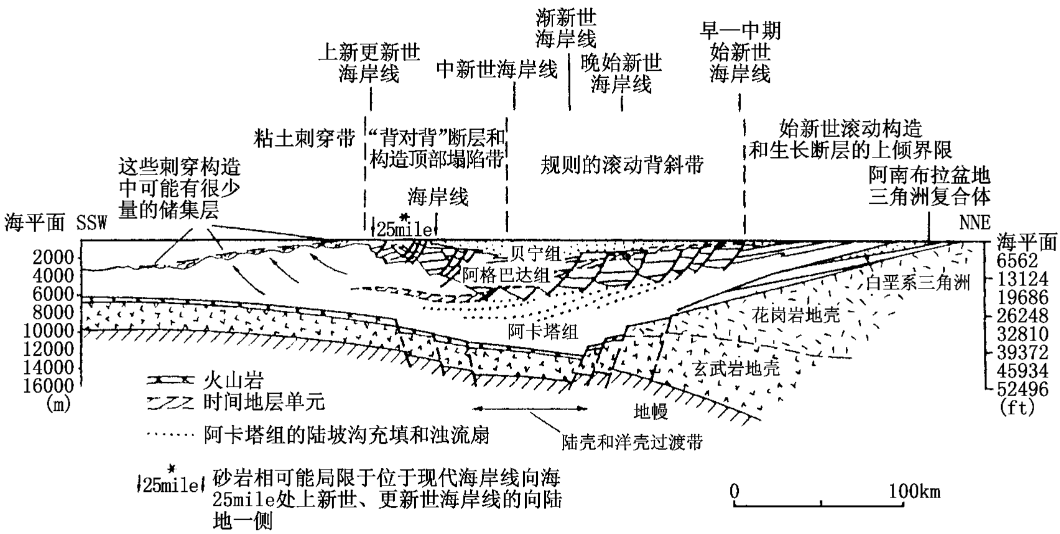


图 3—4—4　尼日尔三角洲地质横剖面图（引自庞维华、潘校华，1998）

（1）规则的滚动背斜带。该带生长断层发育，向海呈阶梯状分布，在其下降盘伴生有滚动背斜，主要位于现今三角洲陆地部分。

（2）顶部塌陷构造带。该带由背对背的同向生长断层及反向生长断层组成。当反向断层产生在构造顶部，岩层下陷时可形成顶部塌陷构造带，主要分布在滨岸区。

（3）粘土刺穿构造带。该带位于外大陆架和大陆坡上的深水区，由于粘土类发育，在地下深处受到高温、高压的影响，在重力作用下，可塑性泥岩上拱，可形成各种刺穿构造。

2. 地层简介

早白垩世时期当西非亚板块和中非亚板块产生分离活动时，导致海水流入贝宁—卡拉巴尔枢纽线所辖置的近海区，在阿尔布期形成了一套海相沉积物，大致分布在几内亚海湾台地斜深部和阿巴卡利基槽地以及贝努埃槽地内。

晚白垩世西诺曼期表现为海退发育阶段，形成了三角洲及一部分单独的深水扇。

晚白垩世—古新世时，坎佩尼期的海侵开始，沉积了少量的页岩与砂岩。此后，随着麦斯特里希特期的大规模海侵，在广大范围内沉积了伊莫页岩，从而使原始尼日尔—贝努埃三角洲停止了发展。

早第三纪始新世时，尼日尔三角洲开始有了新的沉积，分布范围超过了 $18\times10^4km^2$，沉积物来自东北部，主要由尼日尔河—贝努埃水系和次要的克鲁斯河携带碎屑入海。

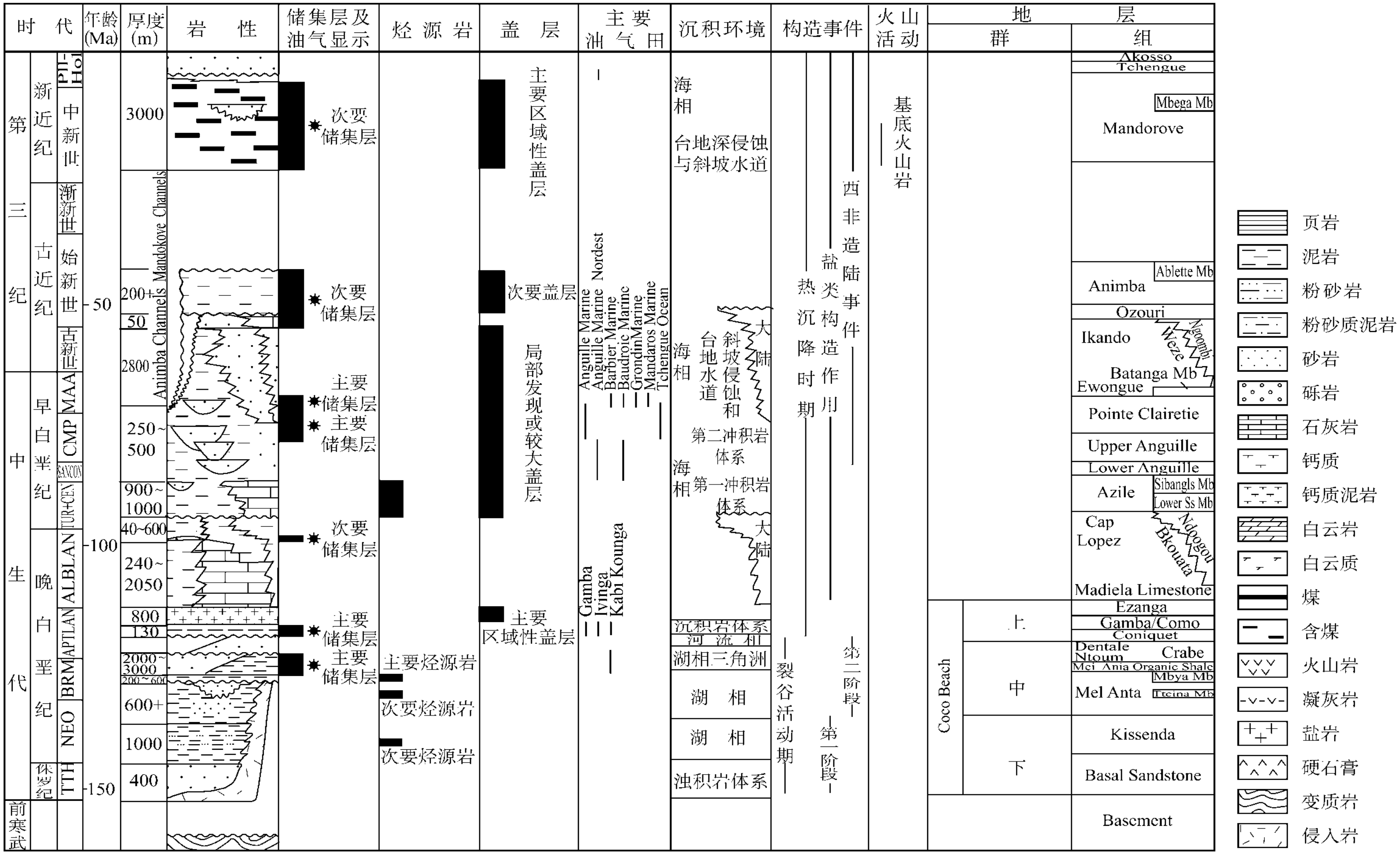
中始新世时，尼日尔三角洲沿阿南布拉大陆架迅速向南推进，跨越了贝宁—奥尼查地区，至晚新世时抵达阿菲波，相继在大陆架前缘沉积了阿卡塔（Akata）组粘土岩及浊流和大陆坡深谷砂层，相应伴生了大规模的刺穿构造带。

尼日尔三角洲盆地从早白垩世至现代盆地内的沉积物由 3 个主要沉积旋回组成（表 3—4—1）。

1）前白垩系基岩

有 5 个岩组：混合岩、轻微混合岩化、紫苏花岗岩、较老的花岗岩和最年轻未变质的粗玄岩脉。

表 3－4－1　尼日尔三角洲盆地综合地层（引自 Petroconsultants，1995）



2）下白垩统至上白垩统的第一个沉积旋回

早白垩世晚期（阿尔布阶）的沉积物，由下至上包括有阿苏河组、阿巴卡利基页岩、阿鲁富灰岩、博科灰岩、马姆费组和乌姆贝组。

（1）阿苏河组：由大量的黄褐棕色砂质页岩、含云母的细粒砂岩和含云母的泥质砂岩组成，时夹红棕色页岩，厚度在 3 000 m 以上。局部见有基性和中性侵入岩。

（2）阿巴卡利基页岩：由暗色页岩夹透镜状砂岩及石灰岩组成，有时还伴生有铅锌矿。

（3）阿鲁富灰岩：由石灰岩组成，有时伴生有铅锌矿。

（4）博科灰岩：由石灰岩组成，厚 10～15 m。

（5）马姆费组：由长石砂岩、粗砂岩与泥灰岩、砂质灰岩互层夹页岩，局部含碳质和薄层褐煤，厚 834 m。局部有火山岩侵入。

（6）乌姆贝组：由砂岩与页岩互层夹砂质岩组成。这个沉积旋回以桑托阶早期发生的褶皱、断裂和上升活动而结束，结果致使阿巴卡利基复背斜上的坎佩尼阶、土仑阶甚至阿尔布阶沉积物的被剥蚀。

3）上白垩统至古新统的第二个沉积旋回

在桑托期之后，坎佩尼期新的海侵开始，沉积了恩克波罗页岩和马穆组等砂岩与页岩。

从第三纪开始，海水淹没了整个尼日利亚南部，结束了上白垩统的沉积。古新世的主要沉积物是海相的伊莫页岩，岩性为黑灰色、蓝灰色页岩，含大量有孔虫等化石，顶部偶夹铁质粘土岩和薄层砂质条带。横向变化大，在尼日利亚东部地区砂质增多，变为粉砂质页岩或页状砂岩；西部地区变为厚层状介壳灰岩。厚度在 320～1 070m 之间。地质时代可从古新世延续至早始新世。

4）始新统至第四系的第三个沉积旋回

早始新世时开始海退，沉积了以海湾相为主的阿梅基组砂岩。在尼日尔河西部相变后以页岩为主体，至拉各斯北部变为砂岩（伊拉罗砂岩）和□湖相粘土（奥绍逊组），厚约 100 m；至东部变为砂岩与页岩互层夹泥灰岩及含化石的页岩和石灰岩，厚度增大至1 600 m。中、晚始新世时期，普遍发主海退，沉积物中砂岩增多。

渐新统至中新统沉积物，主要是陆相的奥格瓦夏—阿萨巴组，由褐煤和粘土组成互层，主要分布在奥尼查和奥韦里地区。其中煤层有的厚度大于 6.5 m，已探明煤的储量超过 62×10^6 t。

中新世至现代的年轻沉积物是贝宁组，分布广泛，横跨整个尼日尔三角洲地区，主要岩性为黄色或白色具交错层理砂层夹砾石层及粘土，厚约 3 000 m。

覆盖在奥格瓦夏—阿萨巴组或贝宁组之上的为一套最新的现代三角洲沉积物。

二、含油气性

1. 烃源岩

尼日尔三角洲有 2 套生油层：一是前三角洲沉积的阿卡塔组粘土岩，生油层厚度在 2 500 m 以上；另一为海陆交互相的阿格巴达（Agbada）组下部暗色页岩，生油岩厚度在 1 000 m 以上。

尽管阿格巴达组可能局部生成油气，但阿卡塔组页岩是最有希望的第三系烃源岩。Eze Aku 组的黑色页岩和 Awgu 组的灰色页岩被认为是阿南布拉坳陷的烃源岩。

2. 储集层

盆地的储集层均位于第三系阿格巴达组。除偶尔有很纯、欠压实的层状页岩外，储集层主要是石英砂岩。在尼日尔三角洲的赤道几内亚区中，中新统 Isongo 组为长石和石英砂岩。在阿南布拉坳陷，麦斯特里希特阶的 Nkporo 和 Mamu 组储集层分别由薄层状砂岩和贝壳灰岩以及细—中粒砂岩和生物碎屑灰岩组成。

3. 盖层

主要盖层为阿格巴达组的页岩夹层和阿卡塔组的页岩。阿南布拉坳陷中新统 Isongo 组砂岩和白垩系储集层为层内页岩。

4. 油气生成与运移

当盆地内生油层（阿格巴达组下部暗色页岩及阿卡塔组粘土岩）的埋藏深度位于2 000m左右时，即开始进入生油门限。这时生成的油气就可从生油层运移至阿格巴达组储集层之中，随后再沿砂岩层或生长断层断面运移，最后聚集在伴生的滚动背斜内，形成油气藏。

5. 含油气组合

1）含油气组合类型

尼日尔三角洲盆地虽然已经分辨出 8 个含油气组合，但其中只有 3 个组合（或区带）对储量有较大贡献。

（1）阿格巴达构造含油气组合。为该盆地最大的含油气组合，该组合有 542 个油气田，其油气储量占盆地最终可采储量的 92%。在每个连续沉积带的近端构造发育最好，即在主要生长断层部位发育有伴生的滚动背斜。在阿格巴达构造含油气组合可能进一步发现油气，该组合在早中新世、中中新世和晚中新世沉积带的近端远景最大。在中新世沉积带远端边缘的断层和滚动逆牵引构造中可能含有天然气。在上新世，沉积带在有页岩流动或底辟作用的圈闭中可能含油气。

（2）阿格巴达地层（相变）—构造含油气组合。该组合有 10 个油气田，其油气储量占盆地最终可采储量的 2.7%。地层圈闭以相变有关的尖灭为特征（水道充填），并具有生长断层形成构造圈闭。

（3）阿格巴达不整合—构造含油气组合。该组合有 14 个油气田，其油气储量占盆地最终可采储量的 2.8%。该带的特点是油藏位于不整合面以下断层下盘滚动背斜的脊部。

滚动背斜是尼日尔三角洲盆地内的一种主要构造圈闭类型，其轴向一般平行主断层，背斜的形成受主断层控制，有的发育不全，成为半背斜，构造幅度一般不大，成丘状，圈闭面积小，多在 10 km^2 以下，分布在同生断层的南侧，常见有几种构造类型（图 3—4—5）：①基本上没有错断的单纯滚动背斜，这类构造在尼日尔三角洲盆地中约发现了 25 个油田。②由一条或多条断层与主要同生断层作用下形成的滚动背斜。这类构造在尼日尔三角洲盆地中分布较为普遍，约有 70 个油田。其中以陆上的博穆油田（图 3—4—6 和图 3—4—7）和海上的梅伦油田（图 3—4—8）为典型。

尼日尔三角洲盆地在由北向南不断向几内亚海湾推进的发展过程中，主要油气层为阿格巴达组形成的一个复杂海陆交互环境的沉积物。值得注意的是，其中发育的沿岸沙坝、河口沙坝、分支河道、点沙坝、天然堤等各种砂体，当直接与阿格巴达组下部生油层或是阿卡塔

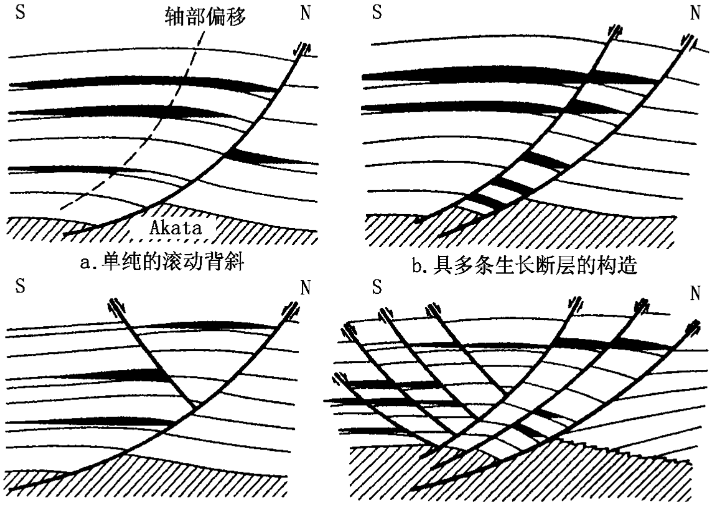


图 3—4—5 尼日尔三角洲油田构造的主要类型

（引自庞维华、潘校华，1998）

组生油层接触，或是通过生长断层面作为运移通道，油气进入各种砂体后，在条件适宜下，即可形成不同类型的地层、岩性油气藏。

如上所述，尼日尔三角洲盆地含油气组合主要有 3 个，即阿格巴达构造组合、阿格巴达地层—构造组合及阿格巴达不整合—构造组合。

2）含油气组合分布

以上 3 个含油气组合主要分布于尼日尔三角洲由断裂而产生的滚动背斜带中，基本上位于三角洲的东部，有 3 种类型的油气藏：①侵蚀面遮挡地层油气藏：主要分布在尼日尔三角洲盆地东南部的海上；②河道砂油田：在尼日尔三角洲盆地南部海上和陆上西侧发现有此种油田；③岩性油气田：主要分布在尼日尔三角洲盆地的中部。

3）影响油气有效圈闭的因素

（1）油气生成：盆地主要烃源岩是第三系中新统阿卡塔组页岩，而储集层为第三系阿格巴达组沙屑砂岩，因此，油气生成主要是在始新世之后，在巨厚的三角洲堆积、异常的高温高压下达到生油窗而逐渐形成的。

（2）圈闭形成：盆地的主要圈闭是滚动背斜，即构造圈闭的形成从始新世开始到中新世，由于断裂作用及三角洲沉积作用，产生了大量的同生断层，与同生断层同时出现了许多滚动背斜，组成滚动背斜带，就组成了盆地的圈闭系统。

（3）最早封闭：阿格巴达与阿卡塔页岩都对其下砂岩形成封闭，Isongo 组泥岩封闭本组砂岩，白垩系泥岩互层封闭相应砂岩。

所以，尼日尔三角洲盆地油气生成运移进入圈闭都在第三纪，且主要在始新世之后。

6. 含油气系统

尼日尔三角洲第三系储集层归属于阿卡塔—阿格巴达含油气系统。但是，单个沉积单元本身都包含有必要的组成部分，并可能起相互有效封闭的作用，因此可以划分为独立的含油气系统。阿卡塔—阿格巴达含油气系统是盆地最主要的也是最重要的含油气系统，阿卡塔组

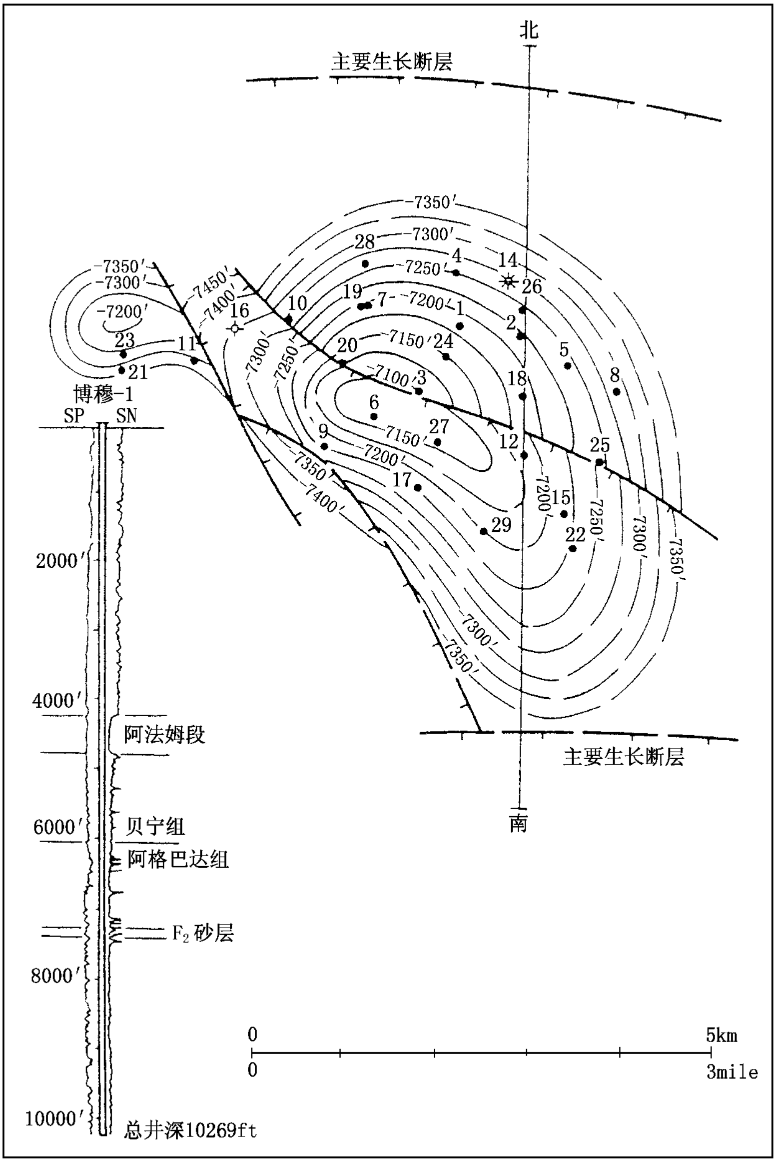


图 3—4—6　**尼日尔三角洲盆地博穆油田** F_2 **砂层顶部构造图**

（**引自庞维华、潘校华**，1998）

及阿格巴达组皆为烃源岩，阿格巴达组砂岩是储集层，而两个组组内互层页岩、泥岩提供了封闭的盖层，第三纪中后期（始新世之后）形成的断层及不整合作运移通道，而始新世之后形成的大量滚动背斜及其他一些岩性构成了圈闭。这样，在阿格巴达组及阿卡塔组中生成的油气，沿构造断裂、不整合进入到各种构造—岩性圈闭中，形成各种构造—岩性油气藏，最终形成阿卡塔—阿格巴达含油气系统。

三、油气勘探开发现状与效果

1. **勘探开发概况**

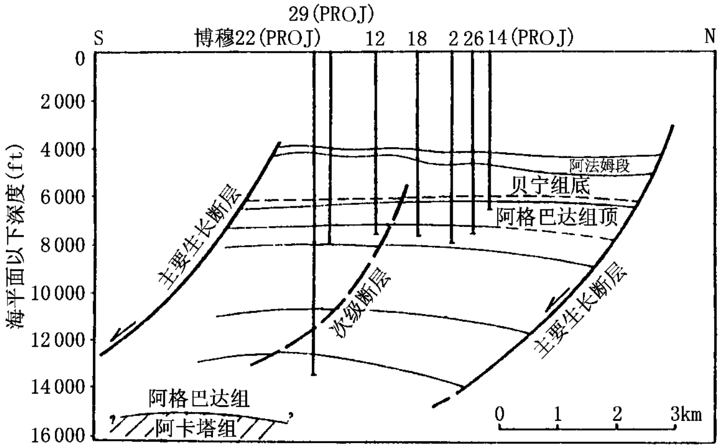


图 3—4—7　尼日尔三角洲盆地博穆油田地质横剖面图

（引自庞维华、潘校华，1998）

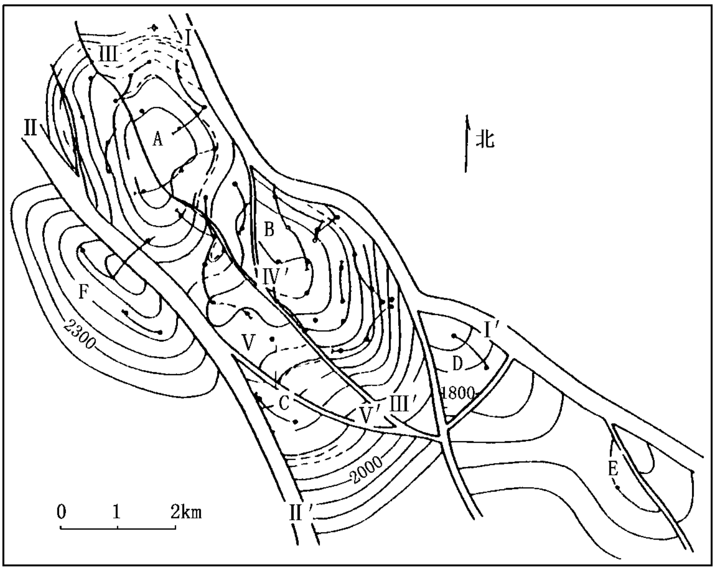


图 3—4—8　尼日尔三角洲盆地梅伦油田 G_1 砂岩构造图

（引自庞维华、潘校华，1998）

1）**尼日利亚**

尼日尔三角洲盆地在尼日利亚南部地区的面积为 156 190 km²。1938/1939 **年尼日利亚陆上开始钻初探井，但是直到** 20 **世纪** 50 **年代才获得第一个发现（阿卡塔** 1 **井）。第一个海上发现**（Kulama 1 **井**）**于** 1963 **年由** Amoseas **公司获得。从地震和新油田预探井的密度来看，该盆地在尼日利亚区的勘探已趋于成熟。在盆地尼日利亚区拥有勘探许可证的面积为** 40 000 km²，**其中海上的大部分都位于深水区。**

尼日利亚 1960 **年开始开发钻井，至今已打了** 2 000 **多口开发井。大部分开发作业都是在** Oso **天然气/凝析油田进行的。**

陆上拥有许可证的面积占许可区面积的 58%（45 500 km²），**海上占** 22%（17 000

km^2)。自从1957年开始生产以来，已从陆上部分产出了约12.3×10^8t石油。1961年以来Imo River油田已生产了约4.9×10^8t石油。Meren和Okan油田分别生产了6 780$\times10^4$t和6 356$\times10^4$t石油。Forcados Yokri油田在1970年至1990年末期间，仅从该油田海上部分即产出了7 520$\times10^4$t石油。

2）喀麦隆

尼日尔三角洲盆地在喀麦隆的陆上面积为1 040 km^2，位于喀麦隆的最西部；海上面积为3 880 km^2，均位于浅水区，水深一般不超过60 m。喀麦隆区于1967年开始勘探钻井。从地震和新油田初探井的密度来看，喀麦隆区已非常成熟。盆地的所有陆上面积均为勘探许可证区，海上部分约有一半为勘探许可证区。

到目前为止，在喀麦隆海上已打了333口开发井，其中291口见油，4口见气。

陆上有132 km^2面积为生产许可证区，占盆地喀麦隆区的13%。海上约2 000 km^2为生产许可证区，占盆地喀麦隆区的50%。

喀麦隆的石油生产均在尼日尔三角洲盆地上，所有的开发活动均在海上，并且只生产石油，没有天然气。1977年开始产油，至1991年石油总产量达到8 876.7$\times10^4$t。

3）赤道几内亚

尼日尔三角洲盆地在赤道几内亚的部分均在海上，即比奥科省的北部和西北部，面积为10 470 km^2。1965年进行了第一轮招标，第一批5口新油田初探井钻于1967/1968年。1984年发现Alba油田。从地震和新油田初探井的密度来看，盆地赤道几内亚区的勘探程度仅略成熟，但盆地的大部分都处于深海。浅水区部分的2000 km^2面积为勘探许可证区。在盆地的赤道几内亚区只打了5口开发井。

Alba油田的天然气可采储量估计为$241.3\times10^8m^3$，凝析油可采储量为616.4×10^4t。这个油田的凝析油日产量约为164.4 t，天然气日产量为$56.6\times10^4m^3$。天然气全部放空烧掉。

尼日尔三角洲盆地的主要勘探目标是第三纪的阿格巴达组。阿格巴达构造油气聚集带的石油储量占盆地总储量的93%，凝析油的储量占盆地凝析油总储量的76%，天然气储量占盆地天然气总储量的92%。

2. 储量特征及油气丰度

根据1993年尼日尔三角洲盆地全部油气田和发现的统计，石油储量为46.1×10^8t，凝析油储量为3.17×10^8t，天然气储量为$2.2\times10^{12}m^3$，其中大部分储量位于尼日利亚，陆上的储量占一半以上（表3—4—2）。

表3—4—2　尼日尔三角洲盆地油气丰度（1993）

类　型	石油	凝析油	天然气	总　量
油气丰度	196 119bbl/km^2	13 497bbl/km^2	$452\times10^6ft^3/km^2$	284 953bbl（油当量）/km^2

四、深层油气田（藏）类型、分布及形成机制

1. 主要油气藏类型

尼日尔三角洲盆地主要以构造圈闭为主，其次为地层—构造圈闭和不整合—构造圈闭。

2. **深层油气图分布规律**

该盆地油气田主要分布在盆地三角洲的东部地区，主要受沉积相带和构造的控制。尼日尔三角洲盆地有 44 个深层油气田和发现（表 3－4－3）。

表 3－4－3　尼日尔三角洲盆地深层油气田

油气田发现名称	深　度（m）	烃类类型	海陆位置	总可采储量（油当量）（10^6bbl）	储集层	储集层岩性	成藏组合
Obagi	2 019	油/气/凝析油	陆上	806.167	阿格巴达组	泥质砂岩	
Eribi 1	4 021	气/凝析油	海上	12.667	阿格巴达组	砂岩	
Ibewa	3 511	气/凝析油	陆上	30.667	阿格巴达组	砂岩	
Inanga	1 547	油/气	海上	16.667	阿格巴达组	砂岩	
Abang 1	3 216	油/气	海上	18.333	阿格巴达组	砂岩	
Bamiene 1	4 033	油/气	陆上	7.5	阿格巴达组	砂岩	
Soku	3 505	油/气/凝析油	陆上	903.333	阿格巴达组	砂岩	
Santa Barbara 1	3 505	油/气/凝析油	陆上	25.5	阿格巴达组	砂岩	
Seibou 1	4 000	油/气	陆上	18.333	阿格巴达组	砂岩	
Adibawa	3 642	油/气/凝析油	陆上	287.833	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达地层—构造
Elepa	3 505	油/气	陆上	5.5	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达地层—构造
Erema West 2	3 555	油	陆上	0.2	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达地层—构造
Eriemu	3 658	油/气/凝析油	陆上	159.333	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达地层—构造
Olokun 1	3 658	油	陆上	5	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达地层—构造
Omoku East 1	3 600	油	陆上	3	阿格巴达 组	砂岩	阿格巴达地层—构造
Odugri	3 810	油/气	陆上	26.667	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达地层—构造
Amenam 1	3 600	油/气	海上	525	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达地层—构造
Azuzuama	4 200	油/气	陆上	27.5	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达地层—构造
Okporhuru 1	3 658	油/气/凝析油	陆上	14.333	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达地层—构造
Ubie	4 359	油/气/凝析油	陆上	395	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Ogbogene North 1	3 505	油	陆上	0.52	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Bubouwe Bou 1	3 658	油	陆上	0.5	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Ekedei 1	3 658	油/气	陆上	21.667	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Ekokor 1	4 023	油/气	陆上	10.833	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Egbedi Creek 1	3 658	气/凝析油/油	陆上	65	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Beni Uden 1	3 658	油/气	陆上	15.833	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Abura	2 980	油/气	陆上	42	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Nimbe South 1	3 505	油/气	陆上	10.833	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Kolo Creek	3 590	油/气/凝析油	陆上	728.333	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Odimodi 1	3 749	油/气	陆上	5.333	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Abasare 1	3 658	油/气	陆上	10	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Ekokor South 1	3 580	油/气	陆上	10.833	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Elebele Creek 1	3 658	油/气	陆上	22.5	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Ososo 1	3 658	气/凝析油	陆上	30	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Irigbo 1	3 810	油/气	陆上	10.833	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Ebegoro South	3 728	油/气	陆上	54.167	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Warri River 5	3 749	油/气	陆上	6.667	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Gbaran 1	3 413	油/气/凝析油	陆上	581.333	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Koroana 1	3 505	气/凝析油	陆上	196.667	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造

Obama	3 536	油/气/凝析油	陆上	196.667	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Yorla	3 633	油/气/凝析油	陆上	178.667	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达构造
Angalalei 1	3 780	油/气/凝析油	陆上	14.333	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达 构造
Asuokpu 1	3 505	油	陆上	5	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达地层—构造
Elegbe 1	3 658	油	陆上	5	阿格巴达组	砂岩	阿格巴达地层—构造

1）*Soku* 油田

发现于 1958 年 2 月，位于陆上，长 11.5 km，宽 4.0 km，面积约 26.50 km^2。目前为生产油田。Soku 油田是尼日尔三角洲东南部 7 个生产的油气田之一，这 7 个油气田是 Oshi、Idu、Ubeta、Soku、Bomu、Obagi 和 Ibewa 油气田。

最终可采储量：原油 200×10^6 bbl；天然气 35 000×10^8 ft^3；凝析油 120×10^6 bbl。到 1994 年累计产原油 136 608 500bbl；到 1978 年累计产天然气 1 005.6×10^8 ft^3。勘探方法为地震，截至 1995 年 2 月，共钻井 31 口，其中 14 口油井，4 口油气井，2 口干井和 1 口油气显示井。截至 1993 年 12 月共钻开发井 23 口，其中 15 口井在生产。

在尼日尔三角洲南部存在许多油苗，并且自 1908 年就成为勘探的重点。直到 20 世纪 50 年代，Shell—D'Arcy 财团钻探发现了第一个商业油田。由于圈闭类型的一致性，迄今该油田已成为众多发现的样本。

主要的储集层为中中新统阿格巴达组砂岩，埋深 3 505 m（表 3—4—3）。储集层为叠置的滨岸层序及障壁沙坝、点沙坝和河道砂岩。总厚度平均 198.1 m，净厚度 137.2 m。渗透率（500～5 000）$\times 10^{-3}$ μm^2，平均 2 750×10^{-3} μm^2。储集层平均温度 74℃。贝宁组砂岩的地温梯度为 1.3～1.8℃/100 m；超压海相页岩为 5.5℃/100 m；滨海阿格巴达地层为 2.7℃/100 m。

主要的烃源岩为古新统—中新统阿格巴达组页岩。烃源岩的质量较差，但体积大，运移条件好，成熟率高。有机质主要为Ⅱ和Ⅲ型干酪根。阿格巴达烃源岩的有机碳含量为 0.42%～1.97%，总烃含量为 250～2 050 mg/L。成熟阶段自中新世至今。

主要盖层为中中新统阿格巴达组页岩。圈闭为中新世生长断层下降盘受挤压作用形成的滚动背斜。本区受深层超压塑性海相页岩在不稳定斜坡上移动的影响，生长断层发育。断层封挡是影响圈闭的最主要的因素。驱动方式为气驱和水驱。

2）*Adibawa* 油田

发现于 1966 年 7 月，位于陆上，属阿格巴达地层—构造含油气组合。长 7.0 km，宽 3.3 km，面积 13.00 km^2。目前为生产油田。尼日尔三角洲前积层序受同沉积断裂、沉降和物源等因素的控制，这使得三角洲形成了数个巨大的向南连续分布的以生长断层为边界的沉积带。它们是三角洲发育过程中构造和沉积活动的主要场所。沉积带之间的油气运移困难。因此，各沉积带成为独立的烃类生成和运移单元。本油气田位于 Greater Ughelli 沉积带。1995 年估计原油原始地质储量 400×10^6 bbl。最终可采储量：原油 200×10^6 bbl；天然气 5 000×10^8 ft^3；凝析油 4.5×10^6 bbl。截至 1994 年累计产原油 114.497×10^6 bbl；截至 1978 年累计产天然气 279.3×10^8 ft^3，勘探方法为地震。截至 1995 年 11 月，至少已钻 25 口井，都为油井。截至 1993 年 12 月，已钻 14 口开发井，都为生产井。

主要的储集层为渐新统—下中新统阿格巴达组三角洲河口坝和河道充填砂岩。储集层构造顶部深度为 3 642 m，储集层深度 3 642 m。总厚度平均 1 075 m，净厚度平均 600 m。孔隙度 25%～40%，平均 30%。渗透率（500～5 000）$\times 10^{-3}$ μm^2，平均 2 750×10^{-3} μm^2。储集层平均温度为 82℃，压力 4 790 psi。

主要的烃源岩为渐新统—下中新统阿格巴达和阿卡塔组页岩。烃源岩自晚渐新世开始成熟和运移至现今。主要的盖层为渐新统—中中新统阿格巴达组页岩。圈闭为渐新世—早中新世北北西向生长断层下降盘受挤压作用形成的东西向滚动背斜。驱动机制为气驱和水驱。

3）*Eriemu* 油田

发现于1961年2月。位于陆上Greater Ughelli沉积带，长约7.5 km，宽约3.0 km，面积约14.00 km^2。属阿格巴达构造—地层含油气组合，目前为生产油田。

1995年估计原始地质储量488×10^{6}bbl。最终可采储量：原油90×10^{6}bbl；天然气3 500×10^{8}ft^3；凝析油11×10^{6}bbl。截至1990年累计产油47 657 877bbl。勘探方法为地震。截至1995年2月已钻20口井，其中10口为油井，4口为油气井，1口为干井。

主要的储集层为渐新统阿格巴达组砂岩。有2个储集层，分别为埋深2 039 m的中新统阿格巴达组砂岩和3 658 m的渐新统阿格巴达组砂岩。

1995年估计原始地质储量为140×10^{6}bbl油；最终可采储量：原油63.5×10^{6}bbl；天然气3 500×10^{8}ft^3；凝析油11×10^{6}bbl。

储集层的底部旋回Ⅰ是粗至非常细粒、分选差的砂岩。旋回Ⅱ为高孔、中渗的底部障壁坝砂岩，含小型构造油藏。最上部的旋回Ⅲ由3个障壁砂岩和1个较小的河道充填层序组成，为最重要的储集层。旋回Ⅳ由障壁坝和河道充填砂岩组成，向南上倾。障壁坝砂岩含油，障壁沙坝向两侧尖灭物性变差。总厚度平均610 m，净厚度488 m，渗透率（1 000～2 000）×10^{-3} μm^2，储集层压力为4118 psi。

主要的烃源岩为古新统—渐新统阿格巴达组页岩。主要的盖层是渐新统阿格巴达组页岩。圈闭为渐新世—早中新世生长断层控制的条状滚动背斜。圈闭位于Afiesere—Eriemu巨型构造上。与相似的构造相比，本圈闭的断层不发育。生长断层受深层超压塑性海相页岩在不稳定斜坡上移动的影响，断层封挡是影响圈闭的最主要因素。驱动机制为气驱和水驱。

4）*Amenam* 1 发现

发现于1990年11月。位于海上，水深41 m，属阿格巴达地层—构造含油气组合，目前正处在评价阶段。

1996年估计原始地质储量为1 100×10^{6}bbl油。最终可采储量：原油500×10^{6}bbl。勘探方法为地震。截至1996年1月共钻4口井，其中2口油井，2口油气井。

主要的储集层是中新统—上新统阿格巴达组滨岸砂坝和陆相河道充填砂岩和粉砂岩。圈闭为滚动背斜，构造面积40 km^2，内部无大的断层。总厚度平均300 m，渗透率（500～5 000）×10^{-3} μm^2。

5）*Ubie* 油田

发现于1961年9月。位于陆上，属阿格巴达构造含油气组合，目前为生产油气田。

1988年估计原始地质储量100×10^{6}bbl原油。最终可采储量：原油100×10^{6}bbl；天然气15 000×10^{8}ft^3；凝析油45×10^{6}bbl。

勘探方法为地震。截至1988年1月钻开发井5口，其中4口为生产井。截至1990年累计产原油34 889 280bbl。

主要的储集层为下中新统阿格巴达组滨海相砂坝和河道充填分选好的细粒砂岩。储集层温度平均92℃，储集层压力5 788psi，主要的烃源岩为中新统阿格巴达和阿卡塔组页岩。圈闭为滚动背斜，驱动机制为顶气驱。

6）*Kolo Creek* 油田

于1971年3月发现，位于陆上。长5.0 km，宽10.0 km，面积约45.00 km^2。属阿格巴达构造含油气组合。该油田是20世纪70年代尼日尔三角洲勘探高峰期的第一个发现。目前为生产油气田。

最终可采储量：原油 350×10^6 bbl；天然气 20 000$\times10^8$ ft^3；凝析油 45×10^6 bbl。截止到1994 年累积生产石油 170.518$\times10^6$ bbl。

勘探方法为地震。截止到 1993 年 7 月共钻井 38 口，其中 27 口为油井，2 口干井，1 口油气显示井，4 口注水井；其中 17 口生产井，21 口井已关闭。

主要的储集层为中中新统阿格巴达组，为三角洲平原砂坝和河道充填沉积，由钙质和菱铁矿胶结的细粒、分选良好的石英砂岩和长石砂岩组成，含海绿石和海相动物残骸。E2.0 储集层的浅海和三角洲平原前积沉积环境可以作为全部 Kolo Creek 储集层的典型层序。它以前三角洲环境开始，其上为 10～15 m 厚三角洲前边缘沉积，在东北部减薄为 5 m。地层显示受风暴的波浪影响。连续的前积，其上为 10～25 m 厚的滨岸障壁砂坝，向西减薄，变为临滨—高能海滩沉积。常见海滩砂脊和障壁岛环绕的□湖沉积。最上部为三角洲平原下部的沉积，包括分流河道、□湖和潮间、□湖三角洲、河流和潮汐三角洲等沉积体的叠合。西部的□湖—潮坪向东相变为分流河道充填沉积。主要的储集层为障壁砂坝和河流充填。共有 63 个产层。储集层总厚度平均 853 m，净厚度 50～75 m。渗透率（500～5 000）$\times10^{-3}$ μm^2。储集层平均温度为 84℃。储集层压力 4 832 psi。

主要的烃源岩有中新统阿格巴达组和阿卡塔组的页岩。烃源岩自中新世后成熟并运移进滚动背斜。主要的盖层为中中新统阿格巴达组和阿卡塔组的页岩。圈闭为中中新世东西向延伸的断层切割滚动背斜。驱动机制为顶气驱。

7）*Gbaran* 1 发现

于 1967 年 1 月发现，位于陆上，目前处于评价阶段。1995 年估计原始地质储量为 1 075$\times10^6$ bbl 油。最终可采储量：原油 483×10^6 bbl；天然气 5 000$\times10^8$ ft^3；凝析油 15×10^6 bbl。

勘探方法为地震。截止到 1995 年 3 月共钻 5 口井，其中 1 口油井，3 口油气井，1 口干井。Gbaran 1 井（1967 年）和 Gbaran 3 井（1981 年）在常规的浅层滚动背斜和下降盘构造中发现了油气。在更新壳牌公司的北部矿区许可时，根据二维地震和钻井资料进行了重新评价。评价认为在深度 3 600 m 以上已不可能再有新的常规滚动背斜商业油气发现。但仍可能发现非常规的断层上升盘和下降盘的圈闭，以及深层 3 600 m 以下的滚动背斜。1990 年钻 Gbaran 4 井，测试一深层背斜，该井证实在 4 200 m 以上能够发现油气。

主要的储集层为下—中中新统阿格巴达组砂岩和粉砂岩。共有 9 套储集层（表 3—4—4）。

表 3—4—4　尼日尔三角洲盆地 Gbarani 发现储集层特征

构造/油藏	岩性/单元	年代地质	深度（m）	总厚度（m）	净厚度（m）	油水界面（m）
Gbaran Deep/Unit D 8.0	阿格巴达组	下—中中新统	3 787			
Gbaran Deep/Unit E 1.0	阿格巴达组	下—中中新统	3 863	14.9		3 881
Gbaran Deep/Unit E 2.0	阿格巴达组	下—中中新统	3 988			4 115
Gbaran Deep/Unit E 3.0	阿格巴达组	下—中中新统	4 159			4 220
Gbaran Deep/Unit E 3.5	阿格巴达组	下—中中新统	4 255	11.9		
Gbaran Deep/Unit E 4.0/5.0	阿格巴达组	下—中中新统	4 294	86	55．8	
Gbaran West	阿格巴达组	下—中中新统	2 246			
Gbaran West	阿格巴达组	下—中中新统	2 932			
Gbaran West/Unit D 7.0	阿格巴达组	下—中中新统	3 413			

其中前 6 个储集层的埋深大于 3 500 m。平均孔隙度估计为 25%～35%，平均渗透率为（500～5 000）$\times 10^{-3}\ \mu m^2$。

主要的烃源岩为古新统—中新统阿格巴达组页岩。主要的盖层为下—中中新统阿格巴达组页岩。圈闭为早—中中新世生长断层下降盘形成的滚动背斜。

8）*Asuokpu* 1 发现

发现于 1989 年 2 月，位于陆上，属阿格巴达地层—构造含油气组合。目前无勘探开发活动。勘探方法为地震，尼日尔三角洲地区典型的勘探目标是寻找含油气的生长断层形成的圈闭构造，截止到 1994 年 3 月仅钻了 1 口井，为油井。

主要的储集层为下始新统—下中新统阿格巴达组砂岩和粉砂岩。估计储集层总厚度为 30～46 m。主要的烃源岩为中—上始新统新统阿格巴达和阿卡塔组页岩。自晚始新世烃源岩成熟度至今。晚始新世开始运移至现今。主要的盖层为下中新统阿格巴达组页岩。圈闭为始新世—早中新世生长断层下降盘的东西向滚动背斜。断面可能由页岩和砂岩层组成，既可以是封隔面也可以是通道。因此断面的性质可能是一最重要的圈闭条件。

3. 深成油气田形成机制

盆地油气田的形成主要受滚动背斜构造带的控制。

五、小结

（1）尼日尔三角洲盆地的发展与几内亚海湾密切相关。随着几内亚海湾的形成，在北东向与北西向两组断裂制约下，尼日尔三角洲于晚白垩世出现。至白垩纪欧特里沃期大陆地壳解体，扩张产生了转换断裂，在断裂的作用下进而演化为与几内亚海湾早期扩张方向接近垂直的裂谷盆地和与其平行的转换盆地。三角洲的主要发育期是第三纪。中新世三角洲东西部合并，成为一个高能、建设性、朵状三角洲体系，推进速度缓慢，物源丰富，在重力作用下同生断层异常发育，在下降盘相应伴生了大量的滚动背斜。

（2）尼日尔三角洲盆地早白垩世至现代沉积物由 3 个主要沉积旋回组成。

（3）尼日尔三角洲有两套生油层：一是前三角洲沉积的阿卡塔组粘土岩，生油层厚度在 2500 m 以上；另一为海陆交互相的阿格巴达组下部暗色页岩，生油岩厚度在 1000 m 以上。

（4）盆地的储集层位于第三系阿格巴达组。储集层主要是石英砂组合分别岩。

（5）尼日尔三角洲盆地最主要的 3 个含油气组合分别是阿格巴达构造含油气组合、阿格巴达地层（相变）构造含油气组合和阿格巴达地层（不整合）构造含油气组合。

（6）滚动背斜是尼日尔三角洲盆地内的一种主要构造圈闭类型。

（7）尼日尔三角洲盆地的石油储量为 46.1×10^8 t、凝析油储量为 3.17×10^8 t，天然气储量为 2.2×10^{12} m^3，其中大部分储量位于尼日利亚，陆上的储量占一半以上。

（8）尼日尔三角洲盆地有 44 个深层油气田和发现。

参 考 文 献

庞维华，潘校华. 1998. 非洲苏尔特盆地和尼日尔三角洲盆地. 北京：石油工业出版社

Adesida A A，Reijers T J A. 1997. Sequence stratigraphic framework of the Niger Delta Basin. Aapg int Conf (Vienna，Austria，9/7—10/97)

Ejedawe J E，Coker S J L. 1984. Evolution of oil—generative window and oil and gas occurrence in Tertiary Niger Delta Basin. Aapg Bull Vol. 68，No. 11

Ejedawe J E，Coker S J L，Lambert—Aikhionbare D O，*et al*. 1984. Evolution of oil—

generative window and oil and gas occurrence in Tertiary Niger Delta Basin. AAPG Bull, Vol. 68, No. 11, 1744—1751

Owolabi O O, Longjohn T F. 1994. An empirical expression for permeability in unconsolidated sands of the Eastern Niger Delta. J Petrol Geol Vol. 17, No. 1

Owolabi O O, Okpobiri G A. 1990. Prediction of abnormal pressures in the Niger Delta Basin using well logs. Cim Petrol Soc/Spe int Tech Mtg (Calgary, Can, 6/10—13/90)

Owolabi O O, Longjohn T F, Ajienka J A. An empirical expression for permeability in unconsolidated sands of the Eastern Niger Delta. J Petrol Geol, Vol. 17, No. 1, 111—116

Raghavendra Rao V. 1991. Petroleum geology of Niger and Godavari Deltas—A Comparison. Mem Geol Soc India, No. 22, 265—276

第五节　奥特尼瓜盆地

奥特尼瓜（Outeniqua）**盆地位于南非的南部海岸。盆地南部边缘为** 2 000 m **水深线，相当于非洲板块南缘的边缘断裂山，盆地的东西以基底隆起为界**（**图** 3—5—1）。**盆地面积为** 97 320 km^2，**其中陆上面积** 4 490 km^2，**海上面积** 92 830 km^2。

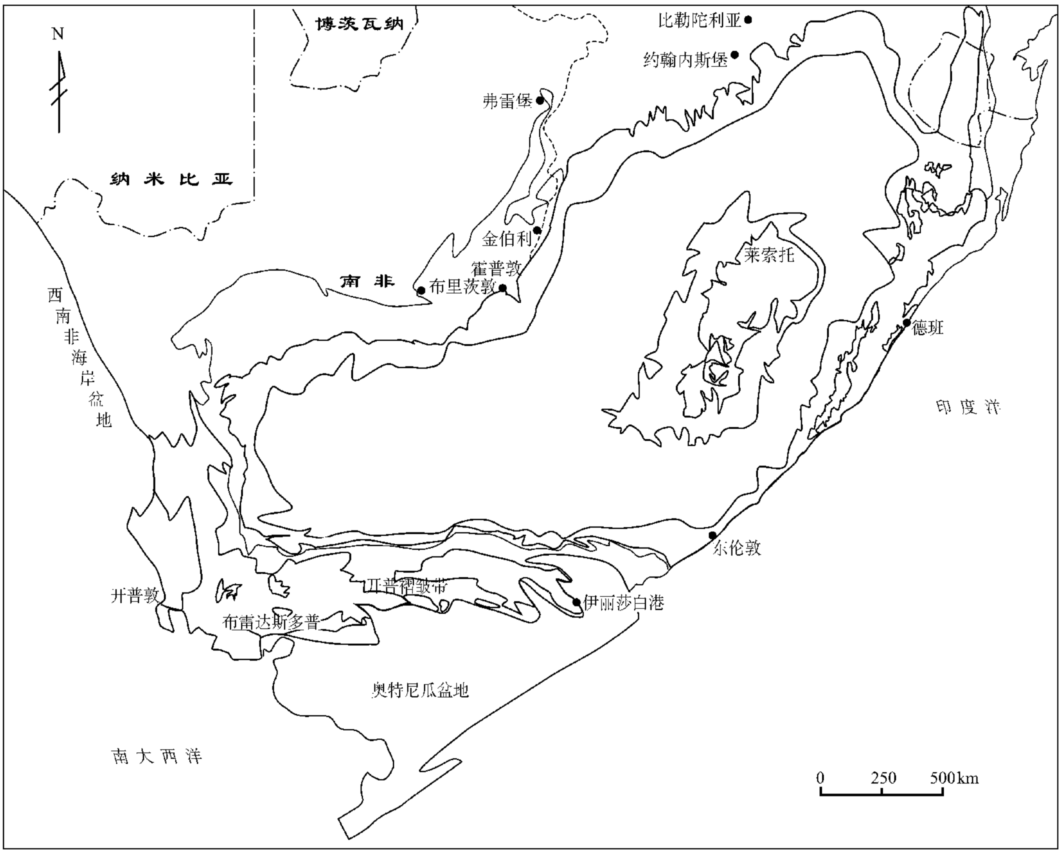


图 3—5—1　**奥特尼瓜盆地位置图**（**引自** Petroconsultants，1995）

奥特尼瓜盆地是中—晚侏罗世冈瓦纳大陆解体时，由沿非洲的南美福兰克（Falkland）高原分离形成的拉张断层发育而成。现在福兰克高原成为南非南部的海岸。随马达加斯加和东南极洲沿 Davie 和 Lebombo 断裂带向南漂移，福兰克高原沿 Agulhas 断裂带向西漂移。奥特尼瓜盆地由一系列北西—南东向雁行排列的坳陷组成，自西向东依次为布雷达斯多普（Bredasdorp）坳陷、Pletmos 坳陷、Gamtoos 坳陷和 Algoa 坳陷。

一、区域地质

1. 盆地演化

盆地内发育有侏罗系和白垩系沉积物，它们由标志着裂谷开始的凡兰吟阶晚期不整合（1At1）分为两大层序。同生裂谷层序厚 10 km 以上；后裂谷层序厚 4 km 以上，为深海相沉积。奥特尼瓜盆地的发育经历了 4 个阶段（图 3—5—2）。

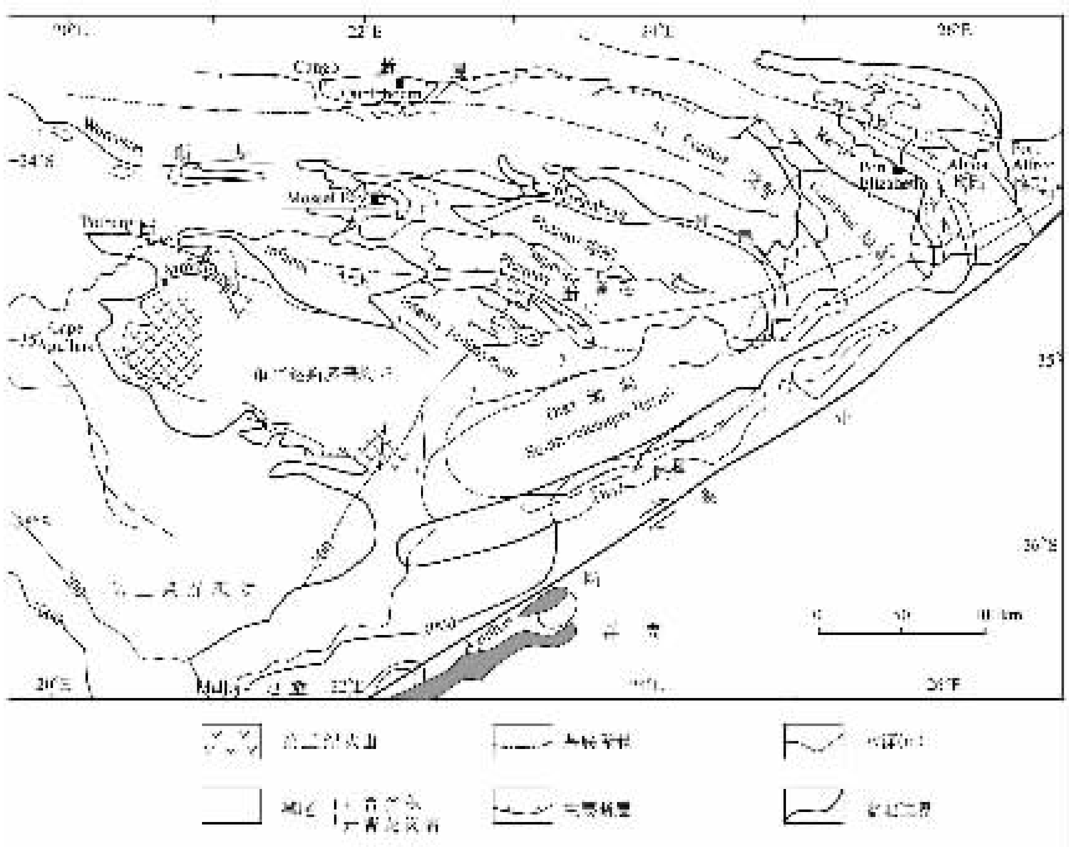


图 3—5—2　奥特尼瓜盆地构造纲要图（引自 Petroconsultants，1995）

1）基底形成期

奥特尼瓜盆地的基底为开普（Cape）超群碎屑岩和前寒武系花岗岩和变质岩。开普超群是古生界被动大陆边缘沉积，厚度达 9 000 m。在二叠纪—侏罗纪期间，变形为开普褶皱带。开普超群的轴线和开普褶皱带陆上的逆掩断层为东西走向，而海上断层更趋向于南北走向。开普造山运动属克拉通内部，反映了 Patagonia—Falklands 加积到冈瓦纳大陆南部边缘时的压性和压扭性应力。其后，造山运动后的塌陷可能是形成奥特尼瓜盆地的主要原因，这时由挤压应力变为拉张应力。

2）同生裂谷阶段：牛津期（*Oxfordian*）—巴列姆期（*Barremian*）（155—126 *Ma*）

同生裂谷阶段（牛津期至巴列姆期）东西冈瓦纳大陆的裂谷始于中侏罗世，沿盆地边界的拉张断层，如：Pletmos、Plettenberg、Gamtoos 和 St Croix 等断层，发育了一系列箕状地堑，包括 Pletmos、Gamtoos 和 Algoa 坳陷。这些断层的上升盘形成基底隆起，如：St Francis、Recife 和 Port Alfred 隆起。这些隆起分割海上的主要地堑，并控制其沉积。确定裂谷的巨大断裂一直延伸到陆上，落差达 6 000 m 以上。

在断层的下降盘一侧沉积了大面积、巨厚、受断层控制的同生裂谷充填沉积。底部为山麓和冲积扇沉积，向上变为河流相砾岩和砂岩，夹凝灰质层。同生裂谷沉积中出现了第一套海相砂岩，它夹在□湖相和河流相粘土岩之中。几乎没有蒸发岩，仅在 E－N 1 井钻遇 180 m夹在页岩中的盐岩和硬石膏。

同生裂谷的构造发育可分为 2 个阶段：

（1）同生裂谷构造发育阶段Ⅰ。沿着一系列大的正断层发生拉张，形成箕状地堑以及盆地中一系列雁行排列的坳陷。在 Pletmos 坳陷，二叠纪—三叠纪的逆断层重新活动形成盆地的边界正断层，包括 Plettenberg、Superior 和 Pletmos 断层。Gamtoos 坳陷为简单的箕状地堑，主要受 Gamtoos 断层控制，该断层在陆上的落差达 3 000 m，海上的落差达 12 000 m。Algoa 坳陷由 3 个断陷组成，即 Port Elizabeth、Uitenhage 和 Sundays River 凹陷，后者位于陆上。

主要边界断层的上升盘露出海面并遭受侵蚀，形成低角度断面坡，使得基底的顶部向下变陡。这些断层在深层变为铲状断层。

（2）同生裂谷构造发育阶段Ⅱ。巴列姆期的构造运动形成盆地范围的不整合 1At1，它代表漂移开始并在南美和非洲间形成新的洋壳。它使主要坳陷的边界断层重新活动，同生裂谷层序进一步下陷。

在布雷达斯多普坳陷，同生裂谷层序被一铲状正断层系统所切割。1At1 前的同生裂谷褶皱是由于早先的正断层发生反转而形成，这些正断层是基底与同生裂谷沉积间的分界面。第二阶段的同生裂谷沉积地层超覆在这些挤压构造之上。在次要的反转期，南非的布雷达斯多普坳陷没有造山运动，但随着大陆解体和沿 Agulhas 断裂带的运动产生右旋剪切应力。该剪切应力可能影响早期的断块，引起局部顺时针方向的旋转和布雷达斯多普坳陷内某些形状不规则断块的反转。在海上 Pletmos、Gamtoos 和 Algoa 坳陷中沿西北西方向延伸的断块，顺时针旋转使这些断块上形成进一步的拉伸。

根据地震资料，可将同生裂谷沉积单元划分为 3 个构造地层亚单元：①底部发散楔状层，为 Portlandian 阶粗至细粒陆源沉积物超覆在结晶基底和开普超群层上；②巴利阿斯—巴列姆阶轻微发散地层，缓慢下沉条件下的广泛沉积；③反向的巴列姆阶斜坡楔状体，由于掀斜断块使沉降大于沉积物供给。同生裂谷沉积层序的顶部有一巨厚的下白垩统边缘海砂岩。

3）后裂谷阶段早期：巴列姆期至阿普第（*Aptian*）期（126—117.5 *Ma*）

此时盆地（6At1—13At1）发生区域性收缩，Gamtoos 和 Algoa 坳陷发生抬升，使热沉降条件下沉积地层减薄，但在 Pletmos 和 Bredasdorp 坳陷进一步沉降，使热沉降沉积地层加厚。

下白垩统称为 Sundays River 群，位于 1At1 不整合之上。在布雷达斯多普坳陷，有一套深海页岩和浊积砂上超层序（1At1—5At1）。在 Plettenberg 断层的下降盘，最大厚度

3 200 m。

在 Gamtoos 坳陷西部旋转断块上方形成明显的反转背斜。沿坳陷的东缘沉积地层沿 Gamtoos 断层向上推覆 3 km，在较为平缓的侵蚀断面上形成断弯褶皱（Gamtoos 背斜）。

Algoa 坳陷在 6At1 后发生明显的抬升，在 Port Elizabeth 和 Uitenhage 地堑同生裂谷沉积层序遭受侵蚀形成峡谷。

由于福兰克高原的右旋运动，使 Gamtoos 和 Algoa 坳陷发生反转。剪切应力可能与 Agulhas—福兰克断裂带平行。剪切引起 St Francis 岛弧、Gamtoos 坳陷、Recife 岛弧和 Algoa 坳陷顺时针旋转，从而造成东西向收缩与盆地反转。旋转使原北西—南东走向的断块变为北北西—南南东或南北走向。在 Gamtoos 坳陷，反转和褶皱的程度在断层走向改变时增强，即在北部靠近岸线的北西走向转变为海上南北走向的地区。由于海上的 Pletmos 和布雷达斯多普坳陷、Gamtoos 和 Algoa 坳陷的陆上部分距 Agulhas—Falkland 断裂带较远，未受其影响，几乎没有反转的迹象，仅在布雷达斯多普坳陷较小的逆断层重新活动。

在此期间，盆地均匀的热沉降在地堑中形成充填沉积，随着与坳陷边界逆断层的断距增加，地层厚度变薄。

4）后裂谷阶段中期：阿普第期（117.5—112 *Ma*）

在布雷达斯多普坳陷，在巴列姆期到晚阿普第期沿北部边缘沉积了陆棚浅滩砂岩和海相粘土岩（5At1－13At1），向盆地中心变为深海扇和水下河道砂岩。

Pletmos 坳陷在初期有一快速下沉，形成明显的海侵层序，随后沉降速度变缓。该区大地构造活动以阿普第中期的区域隆升和广泛的侵蚀结束。

这一时期 Gamtoos 和 Algoa 坳陷处于抬升阶段，几条峡谷向下侵蚀进入同生裂谷期和漂移期的地层。

5）后裂谷阶段晚期：阿普第期至麦斯特里希特期（*Maestrichtian*）（112—65 *Ma*）

大陆解体后，福兰克高原与南非分离，奥特尼瓜盆地没有再发生大地构造运动。而后裂谷晚期（13At1 至现今）各坳陷持续沉降，以及受造陆抬升作用的影响，形成向盆地中心倾斜的层序。坳陷边缘的抬升使南非海岸周围热沉降期间的沉积遭受侵蚀。第三纪早期，沿 Agulhas 岛弧抬升高度超过 500 m，在东部和西部发生煌斑岩侵入。

在 Gamtoos 和 Algoa 坳陷，沿 Agulhas—福兰克断裂带发生反转运动，形成 2 个明显的不整合面 6At1 和 13At1，其间为盐岩沉积。

在布雷达斯多普坳陷，在阿普第/阿尔布间不整合（13At1）形成之后有一低速沉积阶段，沉积了富含有机物的页岩，形成该坳陷最厚和最好的烃源岩。阿普第至西诺曼阶（13A 和 14A）的地层为陆棚砂岩和海相粘土岩，物源来自西北，在坳陷中部过渡为海底扇和水下河道砂岩。上白垩统和第三系以陆棚环境中的钙质砂岩与海相粘土岩互层为主。

6）后裂谷末期：第三纪（65—0 *Ma*）

第三纪期间，Gamtoos 和 Algoa 坳陷的北缘相对与中部抬升，热沉降期间的沉积遭受剥蚀（15At1 和 22At1）。22At1 相当于白垩纪与第三纪的分界。盆地第三纪的沉积与白垩纪相似，但沉积速度减小。古新世初期在布雷达斯多普坳陷的北部有一中等规模的构造运动，发生碱性火山岩侵入和喷发。

上第三系较薄，以碳酸盐岩沉积为主，最大厚度为 250 m。上新世—全新世的沉积仅在陆上 Algoa 坳陷有所保存。

2. 地层简介

奥特尼瓜盆地侏罗系和白垩系被凡兰吟晚期巨大的不整合（1At1）分为上下两部分。在 1At1 之前沉积的同生裂谷层序的厚度达 10 km，而裂谷期后沉积的地层厚度为 4 km，主要是深海沉积（表 3—5—1）。主要的地层单元包括：

（1）上侏罗统—下白垩统 Uitenhage 群。下部为河流—冲积相砾岩、砂岩，夹凝灰质层；上部为□湖和河流相砂岩和粘土岩，夹盐岩和硬石膏；厚度小于 9 000 m。共分为 4 个组：

①Basal Sundays River 组；②Middle Sundays River 组，主要为砂岩、粘土岩和岩盐，厚度小于 1 600 m；③Upper Sundays River 组，陆棚砂岩和海相粘土岩，厚度小于 1 500 m；④Alphard 组，海相和陆棚砂岩、页岩和局部石灰岩，厚度小于 2 300 m。

（2）第三系。以碳酸盐岩为主，夹有砂岩和粘土岩；厚度小于 1 000 m。

二、含油气性

奥特尼瓜盆地的深水区有广泛而成熟的烃源岩层，如果有合适的储集层和圈闭存在，将会有大量的油气发现。在 Pletmos、Gamtoos、Algoa 坳陷有良好的圈闭潜力而未进行钻探的深水远景区也有类似的前景。

1. 烃源岩

布雷达斯多普坳陷的主要烃源岩是早白垩世的粘土岩和页岩层序。凡兰吟晚期、豪特里夫和巴列姆期的烃源岩位于 1At1 不整合之上，阿普第—阿尔布期的烃源岩位于 13At1 不整合面上。

1）布雷达斯多普坳陷

（1）裂谷后Ⅰ单元（1A—5A）：巴列姆—阿普第期的沉积为深海缺氧环境，潜在烃源岩的最大厚度可达 50～80 m，面积 1 000 km²，为Ⅲ型干酪根，生湿气或干气。

（2）裂谷后Ⅱ单元（6A—12A）：阿普第期的低沉积速率在 5A 和 9A 层序形成干—湿气源岩和局部的油源岩。共有 3 套烃源岩。第 1 套最大厚度为 30～70 m，面积为 2 000 km²，有机质为Ⅱ/Ⅲ型干酪根，生湿气；第 2 套最大厚度为 100 m，面积为 180 km²，Ⅰ/Ⅱ型干酪根，生油；第 3 套 9A 页岩的厚度为 20～70 m，面积为 3 000 km²，Ⅱ/Ⅲ型干酪根，生湿气。

（3）裂谷后Ⅲ单元：在阿普第/阿尔布不整合之上大多数盆地经历了一个缺少沉积的时期。在盆地的中心沉积了富含有机质的 12A—13A 层序。它们是布雷达斯多普坳陷最好的油气源岩。厚度 80～120 m，局部达 220 m，Ⅰ/Ⅱ型干酪根，并处于生油窗口 1 800～1 900 m 内。另外，在阿普第晚期—科尼亚克（Coniacian）期经历的另一个沉积贫乏期沉积的 14A—15A 有机质页岩，最大厚度为 10～15 m，面积 800 km²，Ⅰ/Ⅱ型干酪根，但未成熟。

2）*Pletmos* 坳陷

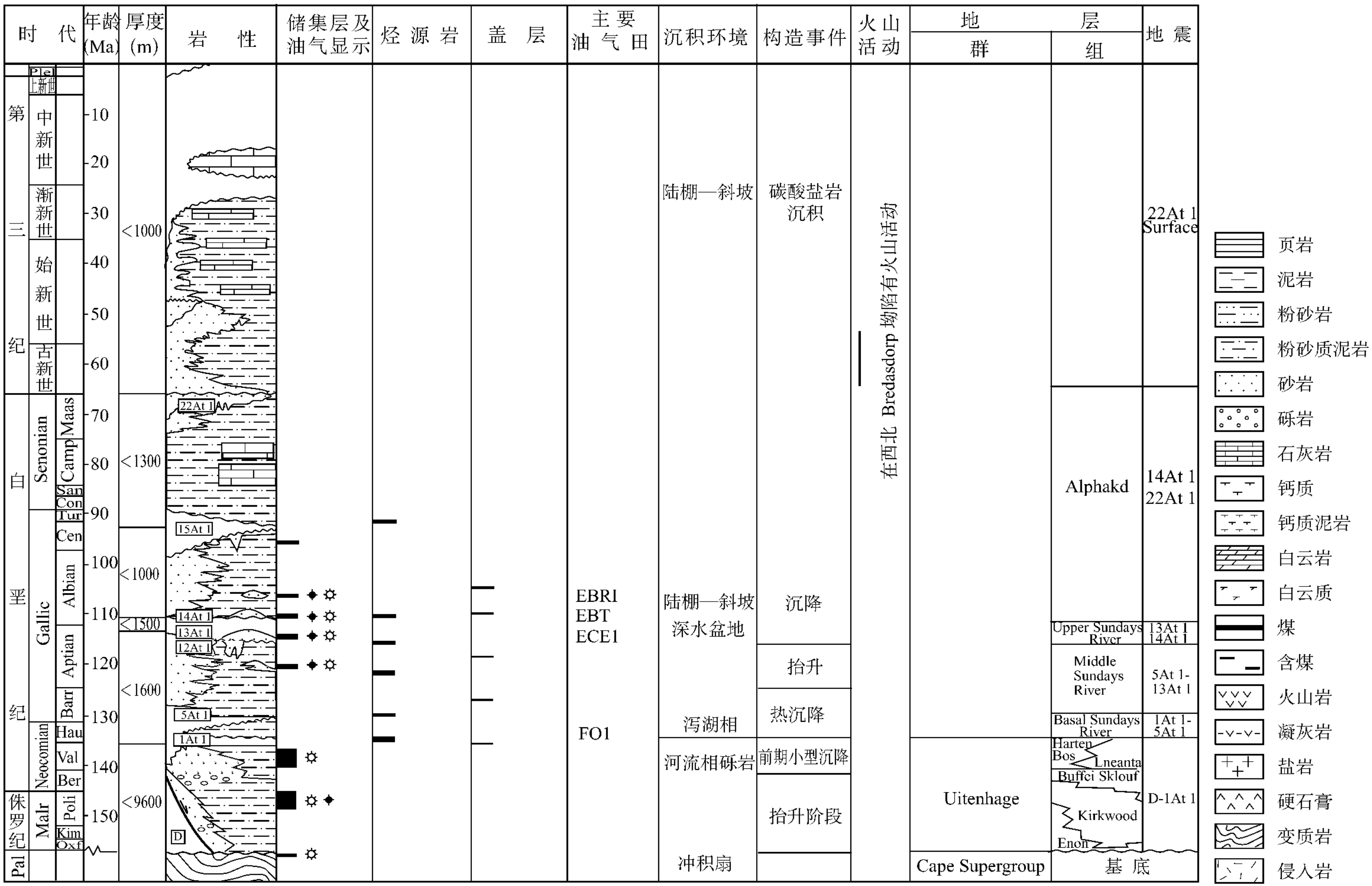
白垩系富含有机质的沉积与布雷达斯多普坳陷的层位相同。后裂谷早期的烃源岩质量差别较大，在南部受到剥蚀。阿普第阶的烃源岩（6At1—13At1）发育较好。在发现井 Ga—Q1 井和 Ga—A1 井，这些下白垩统的烃源岩都位于生油窗口内，深度 3 550～3 790 m。

阿尔布阶的烃源岩较布雷达斯多普坳陷相应的页岩要薄，局部含砂，夹 1～4 m 厚的褐煤层。

3）*Gamtoos/Algoa* 坳陷

在 13At1 之前的层序中和晚侏罗纪同生裂谷层序中具有烃源岩。在 Gamtoos 坳陷的中

表 3—5—1 **奥特尼瓜盆地综合地层(引自** Petroconsultants,1995)



部和南部有 215 m 的启莫里—波特兰阶同生裂谷沉积的烃源岩，以生干气为主，局部生湿气和油。另外也发现几层上侏罗统富含有机质的海相页岩，其厚度向 Gamtoos 断层增加，其中大部分过成熟。在 4000 m 深度见到气显示。在 Gamtoos 坳陷的中部有后裂谷早期的烃源岩，生干气—油。

Algoa 坳陷最好的烃源岩位于 Port Elizabeth 地堑，60 m 厚的启莫里阶海相页岩，生湿气—油。该烃源岩延伸进入地堑的较深部位，因此成熟程度可能较高。东南部的 Uitenhage 地堑含有启莫里阶（Kimmeridgian）的生干气—湿气的烃源岩。该坳陷的海上部分含有 130 m漂移早期的生干—湿气的烃源岩，位于 Uitenhage 断层的下降盘。

在同生裂谷沉积层序中有一些次要的烃源岩，它们大多是过成熟的。

据布雷达斯多普坳陷中部的热成熟度分析表明，可能成熟的烃源岩目前的深度约在 4 000 m，在晚白垩世进入生油窗口。较浅的烃源岩层，如 13A 层在第三纪首次进入生油窗口，这时较深的烃源岩已进入生气窗口。因此，盆地主体部分中的豪特里夫阶烃源岩可能处于生气窗口，而阿普第阶的烃源岩可能仍处于生油窗口内。

盆地近源地区的生油深度为 1 800～1 900 m。由于 Gamtoos 和 Algoa 坳陷的地温梯度较盆地西部的各沉积凹陷低，成熟烃源岩的埋深相应增加。

2. 储集层

1）布雷达斯多普坳陷

（1）同生裂谷期的储集层（1At1 前）：伴随着裂谷活动的开始，沿着裂谷构造的边缘发生同沉积断裂，导致沉降和发育河道砂岩储集层沉积。从南向北沉积相依次由陆相变为浅海和深海相。其中，浅海相储集层的物性最好，E－M 和 F－A 油田位于该相带。F－A 油田砂岩储集层的孔隙度为 11%～16%，渗透率达 500×10^{-3} μm^2。东部的砂岩为海绿石砂岩，具向上变粗的反韵律，含交错层理。西部储集层加厚，含非海相的粗碎屑岩，局部含砾岩。

（2）漂移早期的储集层（6At1—13At1）：在 6At1 和 13At1 两不整合之间的地层含有大量的砂岩层，具有明显的正韵律和河道沉积的特征。在阿普第早期有 3 个河流体系，其物源分别来自西北、西和西南方向。砂岩受粒间粘土和次生钙质胶结的影响，局部物性变差。

（3）漂移期储集层（13At1—14At1）：在坳陷的中部为 60 km 的深海河道充填砂岩储集层，物性极好，物源来自南和西南方向。该层序底部河道外的储集砂岩变化较大。远源部分的物性较差，近源部分次生孔隙发育，物性较好。该层序上部砂岩在坳陷南部和东部发育，孔隙性和渗透性好，次生孔隙发育。

（4）阿普第晚期的储集层：有 E－BK1 和 E－BL1 两个发现，储集层为细—中粒。分选较差的纯净海绿石含贝壳钙质砂岩，沉积于深海扇环境。孔隙度和渗透率分别为 17.5%和 95×10^{-3} μm^2。

2）*Pletmos* 坳陷

有上侏罗统和下白垩统同生裂谷砂岩储集层、后裂谷期白垩系地层圈闭储集层，包括盆底扇、斜坡扇前积楔状体和下切谷充填。

Ga－Q1 和 Ga－A1 发现于下白垩统边缘海砂岩。Ga－Q1 的孔隙度和渗透率分别为 15%和 5.6×10^{-3} μm^2；Ga－A1 的孔隙度和渗透率分别为 10%～30%和（30～1000）× 10^{-3} μm^2。

3）*Gamtoos/Algoa* 坳陷

在 Algoa 坳陷发有同生裂谷砂岩储集层，最大孔隙度和渗透率分别为 25%和 400×10^{-3}

μm^2。下切谷充填砂岩储集层的物性较差。Gamtoos 坳陷的储集层仅在西部发育有启莫里阶和巴列姆阶的浅海相砂岩储集层，南部启莫里阶和巴列姆阶叠置海底扇沉积中含气。

3. 盖层

同生裂谷储集层的盖层为后裂谷早期的粘土岩。后裂谷期低位扇储集层的盖层为漂移层序的页岩。

4. 油气生成与运移

Algoa 和 Gamtoos 坳陷自晚白垩世开始发生油气运移。

布雷达斯多普坳陷气田的烃源岩可能位于沉积中心的中部，埋深较大。运移距离达 30 km。Pletmos 坳陷的烃源岩不确定，成熟的烃源岩位于坳陷较深的部位，运移距离达 5～20 km。

下白垩统后裂谷扇—河道砂岩复合体储集层被烃源岩包围，运移距离很短。

5. 含油气组合

1）含油气组合类型

奥特尼瓜盆地有 3 个含油气组合

（1）前裂谷基底含油气组合：基底构造—不整合含油气组合仅有一个发现。

（2）同生裂谷上侏罗统—下白垩统含油气组合：同生裂谷上侏罗统—下白垩统构造—不整合含油气组合有 15 个油气田或发现，该组合的天然气、凝析油和石油储量分别占盆地储量的 80%、85%和 7%。它主要由同生裂谷期的浅海相储集层掀斜断块圈闭构成，盖层为上超和披覆在 1At1 不整合面上漂移早期沉积的页岩。迄今为止，这类含油气组是该盆地中最重要的油气聚集带，已发现的油当量储量达 $6\ 849\times10^4$ t。该带包括南非的第 1 个生产油气田，即 F－A 天然气/凝析油油气田（图 3－5－3）。

（3）后裂谷下白垩统含油气组合：后裂谷下白垩统含油气组合有 15 个发现，是最重要石油聚集带，石油、凝析油和天然气的储量分别占盆地储量的 93%、16%和 18%。它的储集层包括块体流、低位扇及河道充填砂岩，盖层为深海相粉砂岩和粘土岩，分布在数个层位中，上覆于 14At1、6At1 和 13At1 不整合面。该含油气组合发现的油气田数量占该盆地已发现油气数量的一半，但是所发现的平均规模都小于同生裂谷油气区带。

1996 年投产的 E－BT 油田，是南非首家生产油田。

2）含油气组合分布

同生裂谷上侏罗统—下白垩统构造—不整合含油气组合分布在 15 个油气田之中，分布于同生裂谷期沉积中。下白垩统含油气组合也在 15 个油气田中发现，且分布于数个后裂谷期沉积层位中。

3）影响油气有效圈闭的因素

（1）油气生成：晚白垩世—古近纪。

（2）圈闭形成：构造圈闭是以裂谷期或裂谷期结束后短期内，即晚侏罗世—早白垩世形成的构造圈闭，并由后裂谷早期的粘土岩作为盖层。地层和地层—构造圈闭包括侏罗纪和早白垩世沉积的地层。

（3）最早封闭：因其封闭机制是层内粘上或页岩封闭，所以封闭是自晚侏罗世—早白垩世，在储集层沉积后的短期之内。

6. 含油气系统

奥特尼瓜盆地只有 1 个含油气系统，储集层为浅海碎屑岩或深海扇和河道充填砂岩，圈

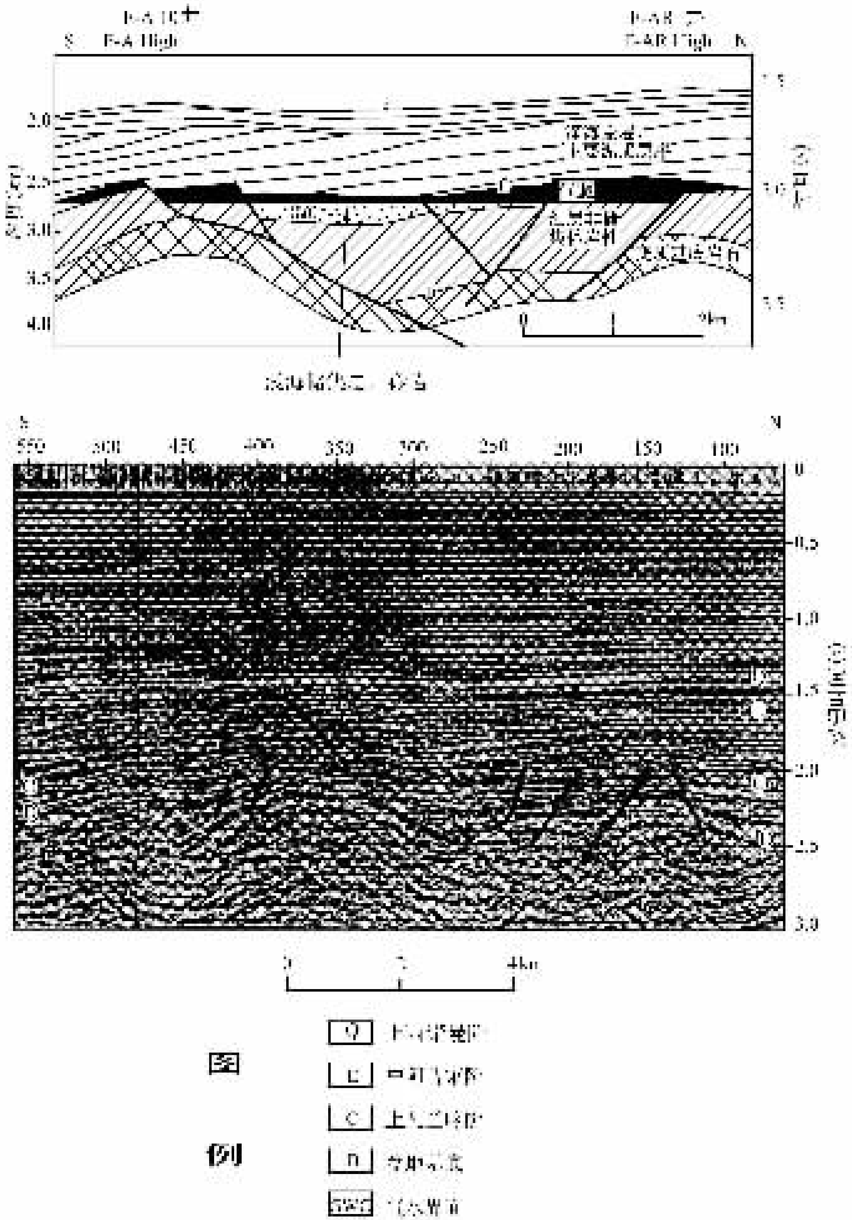


图 3—5—3　奥特尼瓜盆地 F—A 气田地震剖面图

闭包括掀斜断块盆底扇和河道碎屑岩，盖层为后裂谷粘土岩，烃源岩可能为下白垩统页岩。

三、油气勘探开发现状与效果

1. 勘探开发概况

奥特尼瓜盆地大陆架地区为勘探中等成熟度区，占整个盆地面积三分之一的深水地区尚未进行钻井。该盆地水深超过 200 m 的地区目前正等待钻井。奥特尼瓜盆地陆上地区没有油气发现，而海上在一定程度上已被证实为含天然气远景区，原油和凝析油的前景有限。

奥特尼瓜盆地首次广泛地发放勘探许可证是在 20 世纪 60 年代，当时南非各矿业公司得到陆上勘探许可权，Soekor 公司在 1966 年得到海上许可权。1966 年底，该盆地的大部分地

区被划分为区块，分配给跨国石油公司。1973 年开始发放深水勘探许可证。70 年代后期，这些区块逐渐被外国公司放弃。

陆上有限的勘查工作是在 20 世纪 60 年代末期进行的。首次钻井是在 1908 年，其后在 60 年代末 Soekor 公司开始钻井。由于这些井都是干井，使得他们将目光转移到海上。

海上大规模的普查勘探是在 20 世纪 60 年代后期。从 70 年代初开始，Soekor 公司成为主要的经营者。1968 年的第一口 Ga—A1 井在 Pletmos 坳陷发现天然气。1970 年在布雷达斯多普坳陷 F—A 构造上钻了 1 口井，但未能钻遇同生裂谷层序。1976 年 Soekor 公司获得该盆地的首次非工业石油发现（E—C1 井）。1980 年 Soekor 公司重新对 F—A 构造进行钻探，钻遇同生裂谷层序，发现 F—A 油田。80 年代初，该公司将注意力继续放在盆地北翼的天然气聚集带。从 80 年代中期开始，Soekor 公司把注意力放在布雷达斯多普坳陷南翼倾向于生油的后裂谷含油气组合上，然而所有的发现都不足以开发。在 90 年代初发现了 E—BT 1 和 E—CE 1 油田，是南非的第一个投产油田。

对 F—A 油气田已进行开发，开发钻井计划达到 14 口斜井。对目前正在开发中的 E—BT 油田计划完成评价井。对盆地南翼一些油田的开发，是使用海底完井装置连接一个可移动的海上生产船的方式进行的。

F—A 油气田的天然气和凝析油的生产始于 1992 年 3 月 31 日，1994 年日平均产气 $537.7\times10^4 m^3$，生产凝析油 1370 t。

2. 储量特征及油气丰度

根据 1995 年 11 月对奥特尼瓜盆地所有油气田和发现的统计，最终油气储量为：油 76.25×10^6 bbl，凝析油 104.97×10^6 bbl，天然气 $3272\times10^9 ft^3$，其油丰度见表 3—5—2。

表 3—5—2 奥特尼瓜盆地油气储量（1995）

类 型	油和凝析油	天 然 气	总 量
油气丰度	2543bbl/km^2	$45.99\times10^6 ft^3/km^2$	10 208bbl（油当量）/km^2

四、深层油气田（藏）类型、分布及形成机制

1. 主要油气藏类型

该盆地的油气藏类型主要为构造—不整合圈闭和地层—构造圈闭，而深部则为掀斜断块。

2. 油气田分布规律

主要是气田，且分布于海上（图 3—5—4），主要受构造与沉积的控制。

奥特尼瓜盆地有 1 个深层天然气发现，其特征见表 3—5—3。

表 3—5—3 奥特尼瓜盆地 F—O1 天然气发现特征

油气田发现名称	深度（m）	烃类类型	海陆位置	总可采储量（油当量）（10^6 bbl）	储集层岩性	成藏组合
F—O 1	3 702	天然气	海上	5.0	海绿石砂岩	同生裂谷上侏罗统—下白垩统构造—不整合

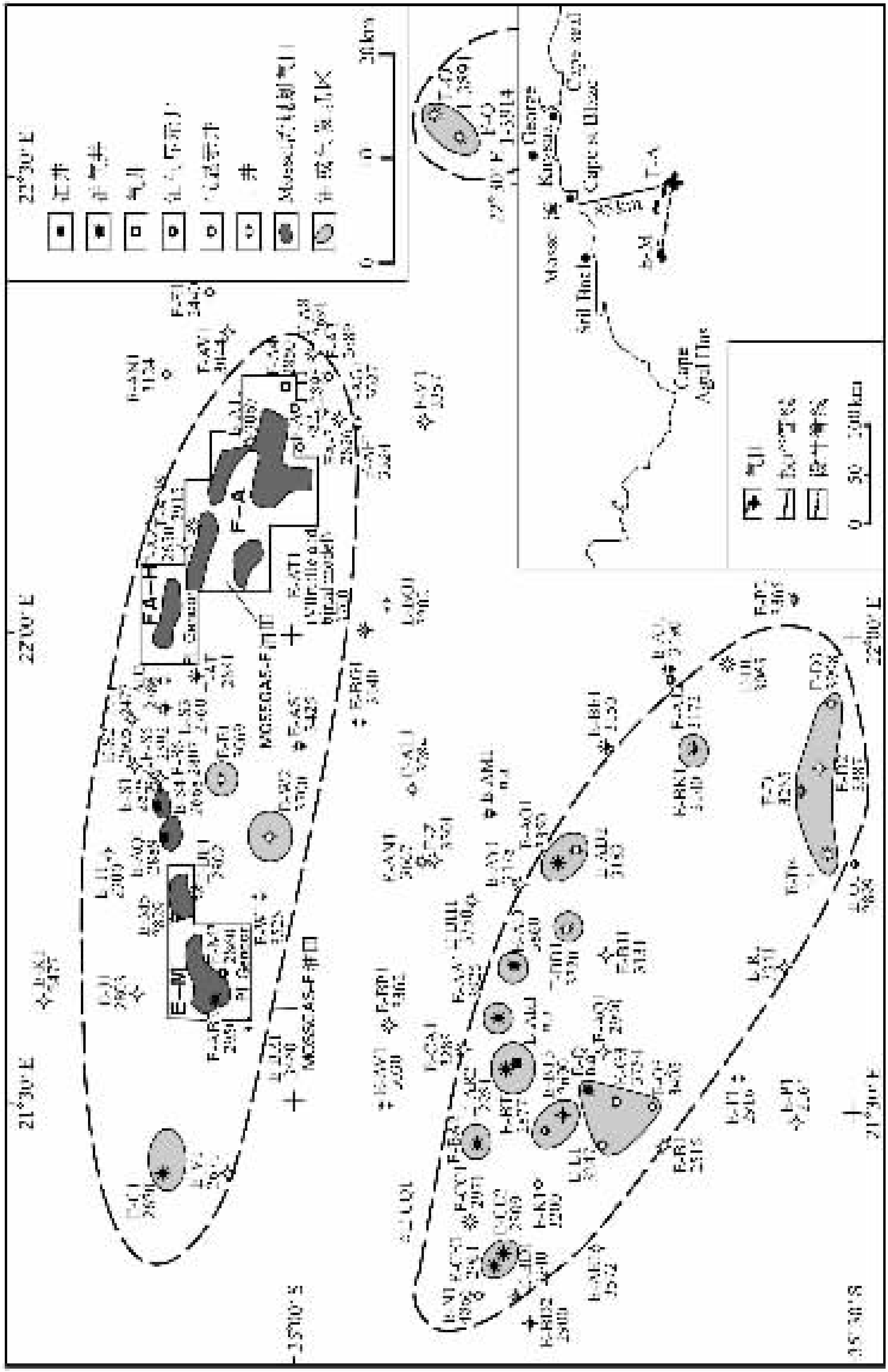


图 3－5－4　奥特尼瓜盆地油气田分布图

3. 深成油气田形成机制

F—O 1 天然气发现于 1989 年 10 月，位于南非奥特尼瓜盆地的坳陷，长 7.0 km，宽 2.5 km，勘探方法为地震。

自 20 世纪 70 年代开始，勘探集中于中到晚侏罗世同生裂谷期沉积的地层。80 年代勘探集中于盆地北翼的天然气构造圈闭。在这一期间，发现了石炭系的烃源岩和油显示。采用地震层序地层学的方法确定远景区。

主要的储集层是巴利阿斯—凡兰吟阶的浅海相海绿石砂岩。储集层深度 3702 m，平均总厚度 109 m，有效厚度 22 m，渗透率 $232\times10^{-3}\,\mu m^2$。气藏地温梯度为 2.0～4.5℃/100 m，平均 3.9℃/100 m。在中部和北部，晚侏罗世—早白垩世的沉积由裂谷和地堑充填开始，气候干旱。其后为海侵层序，由北部的浅海过渡为南部的深海沉积。东部地区的厚度约 240 m，较为均一，向西加厚，并与非海相砂岩互层。储集层砂岩向上变粗变纯，并见交错层理。

主要的烃源岩是凡兰吟—巴列姆阶的页岩。平均总有机质含量为 2%，可溶有机物小于 1500 mg/L。生油窗口顶面深度约 1800 m。烃源岩自晚白垩世—早第三纪成熟，并开始运移。在盆地的主体部分，这套烃源岩处于生气窗口内。盆地中其他重要的烃源岩包括：阿尔布—西诺曼阶的页岩，Ⅰ和Ⅱ型干酪根，最大厚度 10～15 m，顶部成熟；巴列姆阶的页岩，Ⅰ和Ⅲ型干酪根，最大厚度 20～70 m，目前为湿气阶段；豪特里夫阶的页岩，Ⅱ和Ⅲ型干酪根，最大厚度 30～70 m，目前为湿气阶段；豪特里夫阶的页岩，Ⅰ和Ⅱ型干酪根，最大厚度 100 m，目前处于生油阶段；凡兰吟—豪特里夫阶，Ⅲ型干酪根最大厚度 50～80 m，成熟程度为湿气—干气阶段。

主要的盖层是豪特里夫—巴列姆阶的页岩，截至 1994 年 12 月共钻 2 口井，都是天然气井。

圈闭是位于不整合面之下的掀斜断块构造，由晚侏罗世—早白垩世裂谷拉张而形成。

五、小结

（1）中侏罗世东西冈瓦纳大陆解体，奥特尼瓜盆地在晚侏罗世至早白垩世经历了裂谷发育阶段，沿盆地边界断层拉张，发育了一系列箕状地堑，沉积了一套山麓、冲积扇和河流相砾、砂岩，厚度达 10 km。巴列姆期的构造运动形成盆地范围的不整合，同生裂谷进一步下陷。同生裂谷层序的顶部有一巨厚的早白垩世边缘海砂岩。自早白垩世晚期到白垩纪末，盆地发生热沉降，在地堑中形成充填沉积，沉积以深海相为主，地层厚度达 4 000 m。第三纪期间，Gamtoos 和 Algoa 坳陷北部抬升，古新世初期在布雷达斯多普坳陷的北部发生碱性火山岩侵入和喷发。上第三系沉积地层较薄，以碳酸盐岩为主，最大厚度为 250 m。

（2）奥特尼瓜盆地的储集层包括：①同生裂谷期：陆相、浅海和深海相河道砂岩储集层，砂岩和叠置海底扇。②后裂谷期：河道充填砂岩，海绿石含贝壳钙质砂岩，及盆底扇、斜坡扇前积楔状体和下切谷充填储集层。

（3）同生裂谷储集层的盖层为后裂谷早期沉积的粘土岩，后裂谷期储集层的盖层为漂移层序的页岩。

（4）其生储盖组合见表 3—5—4。

（5）奥特尼瓜盆地只有一个含油气系统，储集层为浅海碎屑岩或深海扇和河道充填砂岩。圈闭包括掀斜断块盆底扇和河道碎屑岩。盖层为后裂谷粘土岩。烃源岩可能为下白垩统页岩。

（6）奥特尼瓜盆地最终可采油储量为 76.25×10^6 bbl，凝析油 104.97×10^6 bbl 和天然气

$32720\times10^8ft^3$。

（7）奥特尼瓜盆地仅有1个深层天然气发现。

表3－5－4 奥特尼瓜盆地生储盖特征

	层位或发育时期	岩 性	时 代
储集层	同生裂谷期	砂 岩	晚侏罗世—早白垩世
	后裂谷期	砂 岩	早白垩世—白垩纪末
烃源岩	裂谷期（Gamtoos/Algoa 坳陷）	页 岩	晚侏罗世
	后裂谷期（主要）	页 岩	早白垩世
盖层	裂谷期储集层	粘土岩	后裂谷早期
	后裂谷期储集层	页 岩	漂移期

参考文献

Burden P L A，Davies C P N. 1997. South Africa Offshore E&P：Pt. 1：Exploration to First Production on Block 9 off South Africa. Oil Gas J，Vol. 95，No. 36，92—97

Broad D S，Mills S R. 1993. South Africa Offers exploratory potential in variety of basins. Oil Gas J，Vol. 91，No. 49，38—44

Beamish. 1989. Seismic expression of depositional systems tracts and application to hydrocarbon exploration in Bredasdorp Basin. AAPG Bull，73（3）

Dingle R V. 1979. Sedimentary basins and basement structures on the continentalmargin of South Africa. Bulletin Geological Survey of Southern Africa，Vol. 63

Roux J. 1997. Potential outlined in Southern Outeniqua Basin off S Africa. Oil gas J，Vol. 95，No. 29，87—88，90—91

Thomson K. 1998. When did the Falklands Rotate？Mar Petrol Geol Vol. 15，No. 8，723—736

第六节 索马里盆地

索马里（Somali）盆地位于非洲霍思地区，展布范围为：东经40°～50°，北纬0～9°，主体在索马里和埃塞俄比亚南部，西南角延伸至肯尼亚，总面积703 900 km^2，其中陆地面积628 100 km^2，约占90%，海上面积75 800 km^2，约占10%（图3－6－1）。

一、区域地质

1. 盆地演化

东冈瓦纳大陆解体和印度洋的形成与发展，使东非地区长期处于拉张环境，发生多次区域隆升与裂谷。与此同时，全球海平面升降也在东非地区引起由北而南和由东至西的海侵。在此二因素的控制下，索马里盆地演化经历了以下几个阶段，从而形成了现今复杂的地质构造面貌和格局（图3－6－2和图3－6－3）。

1）前裂谷期

索马里Bur Acaba地区盆地基底由2个岩性构造单元组成：一个为Olontole复合体，是

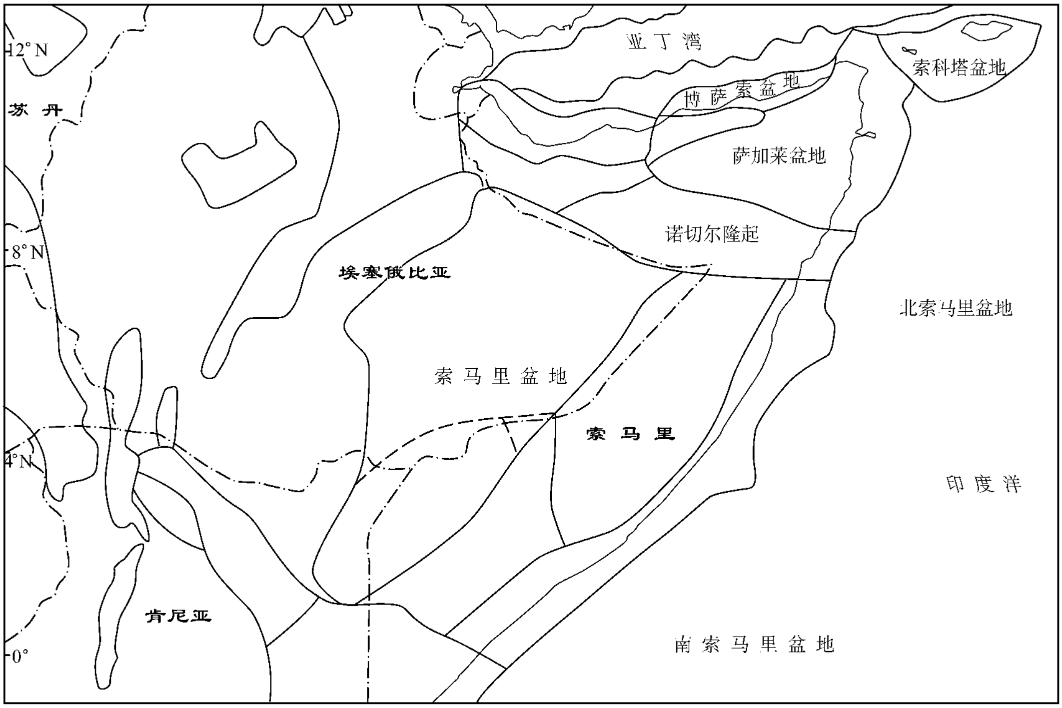


图 3－6－1　索马里盆地位置图（引自 Petroconsultants，1995）

一套混杂岩、副片麻岩、火成角闪岩和石英岩；另一个为 Dinsor 复合体，是一套泥质—砂屑副片麻岩、混杂岩、石英岩和大理岩。二者之间发育早寒武世（615 Ma）花岗岩体，并为中、新生代北东和北西向两组断层所切割。

Ogaden 坳陷西缘出露基底以太古代和元古代复合体为主，具有高度变质岩，并有晚元古代—早古生代花岗岩侵入。索马里北部 Harar 地区和 Hargeisa 隆起区基底包括 3 个单元：Mora 复合体（高度、多相变质岩）；Abdulcadir 复合体（绿片岩相碎屑岩和火成岩）；晚寒武世侵入花岗岩。

晚古生代，上述基底往往构成盆地正向构造单元，并在整个中生代，不时抬升遭剥蚀，形成碎屑岩的物源区。Bar Acaba 隆起可能于三叠纪—早侏罗世抬升出露地表。但在中—晚侏罗世即下降，至白垩世演变为一水下凸起，而现今该隆起位置较低，则是在始新世之后形成的。

2）同生裂谷期

索马里盆地在裂谷期的演化比较复杂，大致又可分为如下几个阶段：

（1）同生裂谷早期：此阶段实际上是一个克拉通内部裂谷作用完整阶段，持续时间为石炭—二叠纪（约 250 Ma）至早侏罗世（约 190 Ma）。

在晚石炭世至晚三叠世，东冈瓦纳大陆发生克拉通内部的拉张和大陆裂谷作用，多次裂谷、沉降与隆升使中等起伏的陆地遭受长期剥蚀，并在宽广的地槽中形成 Karroo 碎屑沉积单元。此阶段构造走向有北东、南北、北北西和北北东几个方向，在一定程度上与前寒武系基底变形走向一致。

Karroo 层序主要为陆相沉积，但在南部也有几期海侵。二叠纪，本区作为特提斯洋的

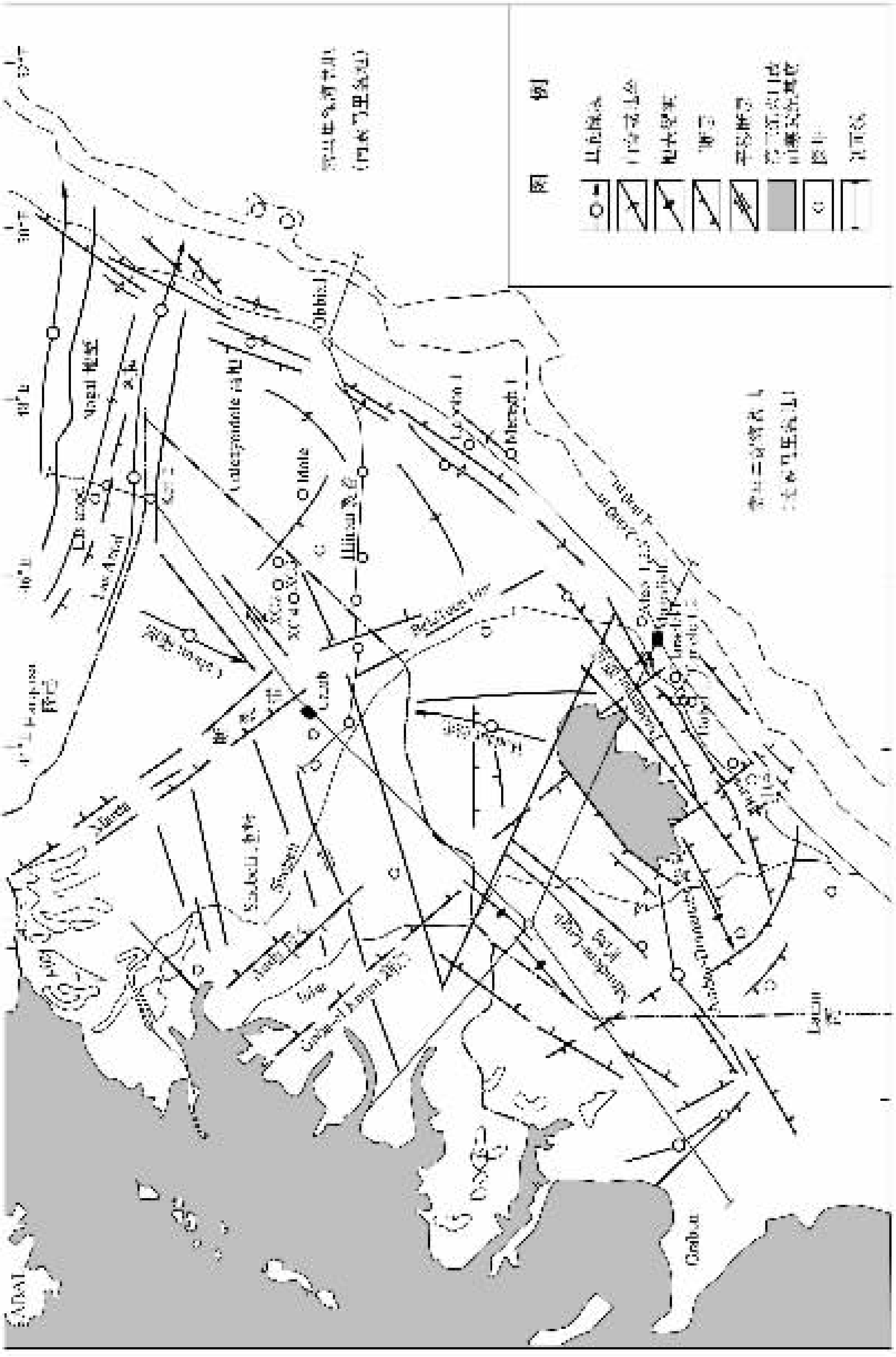


图 3－6－2　索马里盆地构造纲要图（**引自** Petroconsultants，**1995**）

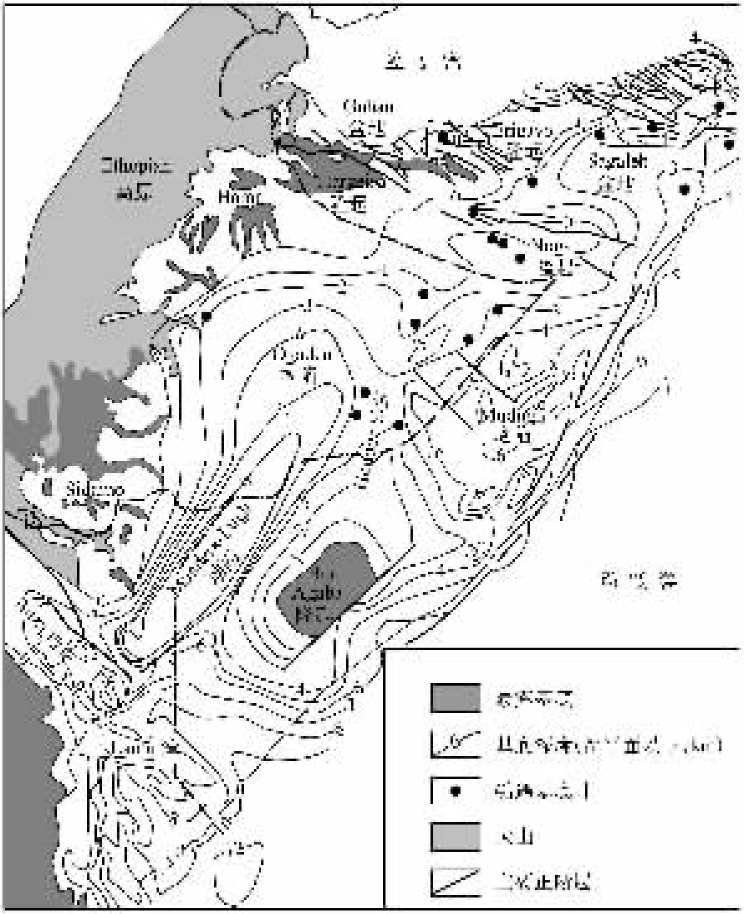


图 3－6－3　索马里盆地基底埋深等值线图
（引自 Petroconsultants，1995）

一个分支，形成了开阔海。晚三叠世，Lamu 海湾，Mandera—Lugh 坳陷西南部和索马里海岸坳陷发生了海侵，推测是一个类似于红海的狭长水道，形成湾海至□湖三角洲沉积。

三叠纪—早侏罗世，裂谷逐渐萎缩，转化为后裂谷坳陷阶段，沉积作用由早期的广泛分布逐渐向裂谷以及正向隆升区边缘收缩。

（2）同生裂谷中期：此阶段是克拉通内部裂谷和离散被动大陆边缘发育期，持续时间为早侏罗世晚期至晚侏罗世（190—150 Ma）。

在此阶段，冈瓦纳大陆继续沿着西部的非洲与南美洲陆块间、东部的印度—马达加斯加—澳大利亚—南极陆地间的扩张脊和转换断层分离。南索马里盆地于晚三叠世—早侏罗世开始打开，并在巴通期（165 Ma）达到鼎盛。该阶段又可分为 3 个拉张—海侵期：

第 1 次拉张—海侵发生在普林斯巴期—辛涅缪尔期，海侵最初系沿着上一阶段裂谷遗迹进行的。

第 2 次拉张—海侵发生在中侏罗世，海侵区域广阔，从索马里中部逐渐扩展到索马里北部和埃塞俄比亚的中—西部。此时期由于扩张脊作用，产生南北向—北东向拉张应力环境，一系列北西向和北西西向断层活动，北西向坳陷叠加在早期北东向地槽之上，扩大了沉降区。

第3次拉张—海侵发生在卡洛夫期（160 Ma），本次裂谷和大陆边缘进一步沉陷，形成了北索马里盆地，使 Hamanleg 台地沉没于水中。

（3）同生裂谷晚期：此阶段，克拉通内部裂谷沿岸坳陷发生反转、掀斜和全面海退。持续时间为提通阶晚期（150 Ma）—纽康姆期（132 Ma）。

侏罗纪末，Mandera—Lugh 坳陷沉积中断，同时在索马里中部和 Ogaden 地区发生海退，沉积了砂岩、碳酸盐岩和蒸发岩。

在纽康姆期，北东—南西向拉张作用进一步加强，形成 Anza 地堑雏形，并影响到 Mandera—Lugh 坳陷西南部。然而，断块掀斜作用及差异沉降作用使索马里盆地大部分地区抬升遭受剥蚀，仅在深部发生沉积作用。Bur Acaba、Hoddur 和 Nogal 等隆起以及 Mudugh 沿岸构造的上升形成了蒸发洼地。在纽康姆晚期，海退环境的形成也与全球海平面下降有关。

北东和北东东断层的走滑作用在 Mandera—Lugh 坳陷产生了线性褶皱。相反，在沿岸的 Mogadishas 和 Lamu 坳陷则以沉降为主，沿主边界断层的掀斜作用形成横地垒。

3）后裂谷期

此期亦分为3个阶段：

（1）碳酸盐岩区层序发育阶段：此阶段以热沉降和区域性海侵为特点，持续时间为巴列姆期至西诺曼晚期（132—70 Ma）。

在巴列姆期—阿普第期，由于板块动力学机制的变化，东非与马达加斯加之间的扩张停止，而 India—Seychelles 板块在约 85 Ma 时与马达加斯加板块分离并向北运动，使北索马里盆地撕裂成两部分。同时海侵持续淹没了从索马里中部向西至阿曼地区大陆缘海湾区。

在西诺曼期（Cenomanian）—土仑期，发生了海侵和持续沉降，在 Mudugh 北部和 Ogaden 坳陷东部，沉积了浅海生物碳酸盐岩。在 Ogaden 中东部，北北东向拉张使侏罗纪北东向断层侧向运动，产生扭压褶皱，引起断块沿断层面旋转。在沿岸坳陷中，一些早期正向块体继续保持凸起或进一步隆升，形成不整合。

从 Bur Acaba 到 Sidamo 的整个西部地区继续抬升，与 Auza 和 Sudan 南部裂谷的沉降形成鲜明对比。另外，由于构造沉降和全球海平面的上升，Mogadisha 坳陷一直保持深海环境。

（2）边缘坳陷盆地Ⅰ阶段：此阶段持续时间为森诺（Senonian）晚期至古新世（75—60 Ma），由于 India—Seycheiles 板块转向北东运动，特提斯之一宽而深的分支逐渐向马达加斯加延伸。与此拉张相关，在南索马里至马达加斯加的沿岸盆地中发生了火山作用。

在陆地部分，晚白垩世形成一重要的区域不整合，中南索马里大面积隆起，遭受剥蚀作用，并在广阔区域形成冲积相沉积。

（3）边缘坳陷盆地Ⅱ阶段：此阶段持续时间为古新世—始新世（64—32 Ma）。在此阶段，北印度洋扩宽达到高峰，北索马里盆地沿北东向转换带发生海底扩张，在沿岸坳陷中沉降和沉积速率明显加大。

在大陆边缘海湾拉张方向可能为近东西向，从中新世中、晚期至始新世，由东向西发生海侵，达东经44°。

始新世中、晚期，由于海退，盆地变浅，首先沉积了蒸发岩，随后沉积 Karkar 生物碎屑碳酸盐岩。

在始新中期后一阶段，Mudugh 坳陷西部为正向构造，其标志为埃塞俄比亚前圈闭准平

原的初期大面积拱升以及溢流玄武岩火山作用的开始。晚白垩世和始新世晚期区域性的抬升可能使 Ogaden 北部上白垩统遭受大量剥蚀。

与此相反，沿岸坳陷在古新世至始新世早期则以沉降为主。在古新世至渐新世，断层再次活动，陆缘变形。索马里的肯尼亚一带大陆斜坡上还发生了巨大滑塌构造。犁式断层的进一步旋转和横断裂作用保持了半深—深水盆地环境。

（4）内陆隆起和边缘沉降阶段：此阶段以隆起、火山活动和埃塞俄比亚裂谷作用为标志，持续时间为渐新世—上新世（30—1 Ma）。

渐新世早期，整个东北非洲抬升出露水面，应力组构特征与东非北东走向穹窿隆升有关。渐新世晚期至中新世早期，发生了大规模火山喷发，喷发岩厚达 1 500～2 500 m。在索马里中部 Mudugh 地区，渐新世时为□湖—陆相沉积。渐新世—中新世，在 Mudugh 坳陷和 Bur Acaba 隆起北部发生了大量火山溢流。

中新世晚期—上新世，产生埃塞俄比亚裂谷及火山活动，这可能是 Ogaden 坳陷北部索马里高原边缘断层作用的产物。

2. 地层简介

在前寒武系—下寒武统盆地基底之上，盆地发育了石炭系—第三系（表 3－6－1），简介如下。

1）石炭系—二叠系

分布在北东向坳陷（半地堑）中，厚度变化大（200～1 500 m），为分割的多沉积中心沉积，岩性为冲积相和湖相砂岩与页岩。

2）三叠系

仅发育上统。下部 Mazeras 组仅在 Mogadishu 坳陷和 Mandera—Lugh 坳陷钻遇。中上部为海侵产物，在 Lamu 海湾，Mandera—Lugh 坳陷为厚逾 3 000 m 的灰质白云岩，另还广泛分布于沿岸坳陷中。上三叠统—下侏罗统 Adigrat 组砂岩系后裂谷坳陷阶段沉积的产物，分布广，但厚度不大，为陆相砂岩。

3）侏罗系

（1）下侏罗统 Didimtu 和 Uanei 组：是海侵条件下形成的以泥页岩为主的地层。

（2）中侏罗统 Hamanley 组：在海侵条件下，为开阔浅海台地相沉积，岩性为碳酸盐岩，厚 400～1 900 m。

（3）中侏罗上统 Anole 和 Uarandab 组：为半深海相混质岩地层。

（4）上侏罗统 Uegit 和 Gabredarre 组：Uegit 组为浅海碳酸盐岩，分布在 Mandera—Lugh 坳陷；Gabredarre 组为砂岩、碳酸盐岩、蒸发岩，分布在索马里中部及 Ogaden 地区。

4）白垩系

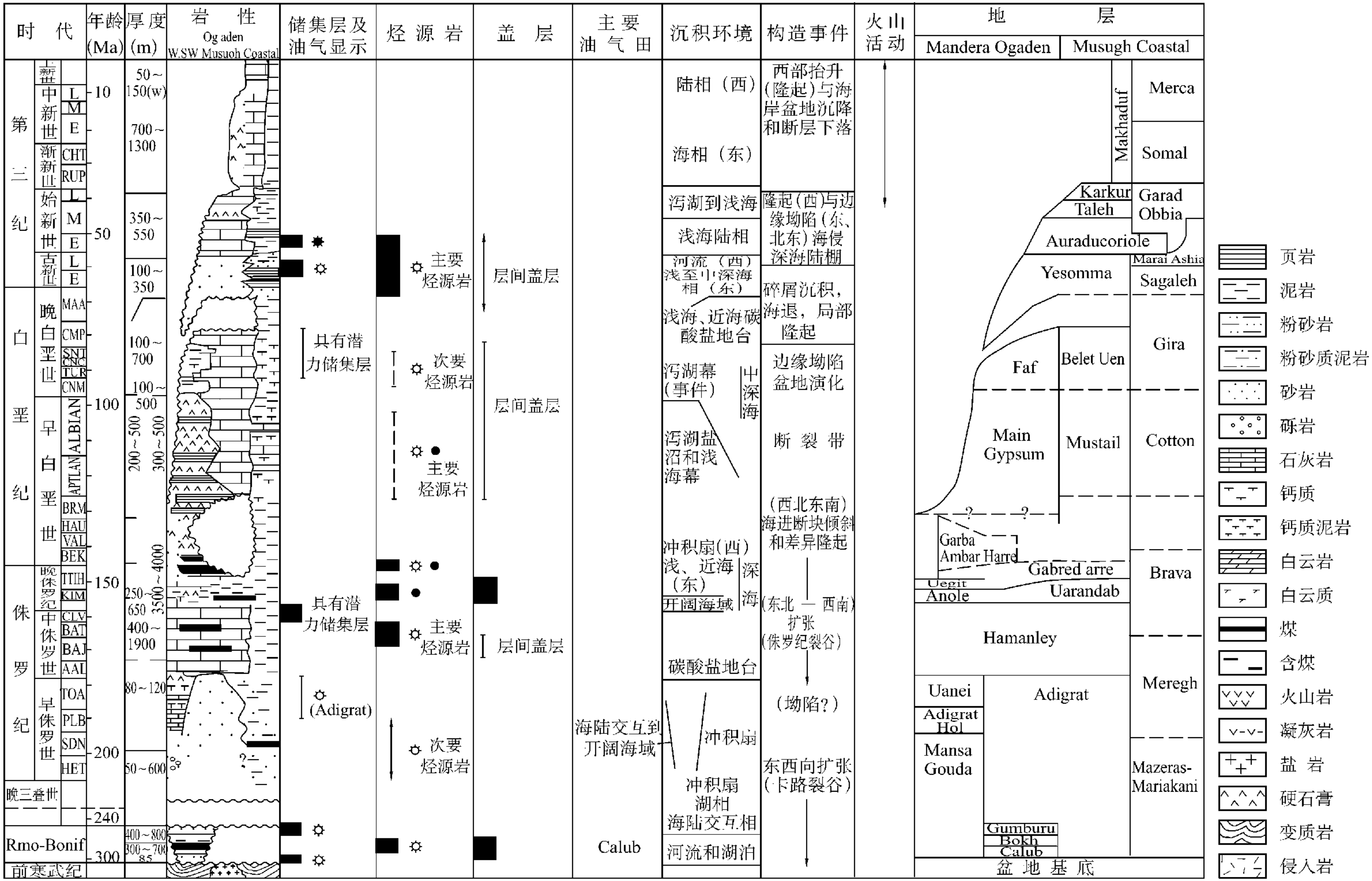
（1）下白垩统 Brava 组：分布在 Mogadishu 和 Lamu 坳陷中，为相对深水环境的碳酸盐岩和页岩。

（2）下白垩统 Cotton 组：在沿岸坳陷中，为盆地相泥灰岩、石灰岩和粉砂质泥岩，局部地区在顶部发育浅海生物礁灰岩和生物碎屑灰岩；在 Harar 地区，为海相砂岩夹石灰岩；在 Ogaden－Mandera 坳陷，可能为陆相砂岩。

（3）上白垩统：在 Mudugh 北部和 Ogaden 东部，发育 Belet Uen 组，为一套浅海生物成因碳酸盐岩。

（4）上白垩统—下古新统 Yesomma 组：在索马里中部和南部为一套广泛分布的冲积相沉

表 3－6－1　**索马里盆地综合地层表(引自** Petroconsultants，1995)



积，岩性为砂岩；在 Mudugh 坳陷，为一套海相砂岩、泥岩和石灰岩。该组平均厚 300 m。

5）第三系

（1）古新统 Auradu 组：不整合在 Yesomma 组之上，为碳酸盐岩，系海侵陆架环境的产物。

（2）始新统：下部为 Taleh 组蒸发岩，上部为 Karkar 组生物碎屑碳酸盐岩。

（3）渐—中新统：发育 Hafun 组和 Somal 组，主要为钙质泥岩、砂岩。

（4）上新统 Merca 组：为河流三角洲相钙质砂泥岩。

二、含油气性

1. 烃源岩

根据 Gaden 地区 Calub 气田的干气分析，认为天然气来自石炭系—二叠系的 Bokh 页岩，该烃源岩为湖相地层，*TOC* 一般小于 0.5%，但偶尔高达 5%，有机质为Ⅱ—Ⅲ型干酪根。

据研究，Mogadishu 坳陷中天然气和凝析油来自 Auradu 组，该组为砂岩和粉砂质泥岩互层，系大陆架—斜坡相沉积，*TOC* 一般在 0.8%～1.4%，有机质来自陆源植物，主要生成天然气和轻质、凝析油。

在沿岸坳陷中，Cotton、Meregh 和 Uarandab 等组虽有机质但含量不高。在坳陷区，有机质相对丰富，也能生成油和湿气。

总结起来，有利烃源岩有：

（1）在 El Cabobe 1 和 Sagaleh 坳陷中与 Auigrat 组对应的地层，烃源岩为黑色泥岩和烟煤，以生气为主。

（2）在 Ogaden 和 Mudugh 坳陷中，重要生油源岩发育于 Hamanley 组和 Uarandab 组。在 Hamanley 组，最好的烃源岩位于中部，为□湖相深灰色石灰岩、页岩与蒸发岩互层，Hilala 1 和 Hilala 3 Hamanley 碳酸盐岩中油气就可能来自此套烃源岩。在 Uarandab 组中，有 2 个黑色泥页岩段，具有海相和陆相有机物质，*TOC* 平均为 2.3%～3.0%，来自藻类，是重要生油岩，生烃指数大于 300mg/g。

（3）烃源岩还发育于 Gabredarre 组和大石膏层中，为深灰色泥页岩，*TOC* 在 1%左右。这些烃源岩以生气为主，生烃指数大于 230 mg/g，是次要烃源岩。

2. 储集层

在 Uarsciek 1（深度 3 871～3 903 m）、Afgoi 1（深度 3 822 m）、Coriole 1（3 487 m）和 Merca 1（2 850 m）等油气田，Sagaleh 组和 Marai Asha 组砂岩产气和凝析油。但这些砂岩储集层受到构造和浅—深海沉积背景控制，横向分布不连续。随着粒度变细、分选性变差和深度的增加，这些储集层孔隙度和渗透率明显降低。在 Coriole 1 油田，始新统含油白云岩的孔隙度为 10%～15%。

在 Calub 油田和 Ogaden 中部其他地区，主要的碎屑岩储集层是二叠系—三叠系 Calub 组和下侏罗统 Adigrat 组砂岩；在 Ogaden 东部，Yesomma 组砂岩也有气显示。这些砂岩是分选好—中等的石英砂岩，由于钙质和硅质胶结，孔隙度较低（$<10\%$），渗透性也差。

有利的碳酸盐岩储集层发育于 Gira、Cotton 和 Hamanley 组，系生物碎屑和生物礁相沉积，局部白云岩化，孔渗性好。在 Ogaden 地区，Hamamley 组中生物成因和生物碎屑建造仅分布在 30～60 m 深的浅海区，向外相变为碳质泥岩和粉砂岩。

3. 盖层

在沿岸坳陷中，上白垩统—古新统 Sagaleh、Obbia 组中粉砂岩和泥页岩为有效盖层，与砂岩、碳酸盐岩储集层形成连续性组合。在 Calub 油田，Bokh 泥页岩既是烃源岩也是盖层。

有利的区域盖层可能有 Uarandab 泥页岩—Anole 泥灰岩和大石膏层。地区性有利盖层有 Taleh 组蒸发岩（在 Mudugh 坳陷北部），Hamanley 和 Gabredarre 组中硬石膏层、致密的白云岩和石灰岩（Ogaden 坳陷，Mudugh 坳陷中西部）。

4. 构造

由于石炭纪—早侏罗世裂谷、中侏罗世—白垩纪裂谷和新生代隆起的叠覆，故索马里盆地构造样式复杂。

1）石炭纪—早侏罗世裂谷

石炭纪—早侏罗世裂谷作用产生了对称断块，其陡翼为犁式正断层所限，断块可能有旋转和向地槽轴或地堑一边呈阶梯状下降。

主要作用：东西向拉张。

主要表现：高角度倾向滑动。

主要构造：地堑、半地堑、地垒、掀斜断块。

2）中侏罗世—纽康姆期裂谷

在 Mandera—Lugh 坳陷和 Ogaden 坳陷西部，拉张应力方向由北东向变为北东东向，加上断层右旋走滑作用，产生高角度大断层，拉分坳陷、宽广地垒和早期断块的进一步分解。在 Calub 地区，由于 Marda 断层西盘上升作用和北东—南西向横断裂作用的干涉，产生了一系列的地垒断块。Mandera—Lugh 坳陷东南缘早期北东向断层则发生左旋走滑。

在侏罗纪—渐新世早期，沿岸坳陷几乎未受裂谷作用的影响，而呈大西洋型被动大陆边缘演化。主要构造有生长断层和掀斜断块。断层运动期主要为晚白垩世—早第三纪。在 Mogadishu 坳陷，一个大型断块向西掀斜，并被北西向断层横切，产生了沿岸凸起和凹陷。类似的构造也出现在 Obbia 坳陷。

Mudugh 坳陷和 Ogaden 坳陷东部构造可能形成于早侏罗世的北北西裂谷作用，但受到中晚侏罗世北东向拉张的进一步加强。El Hamure 地区线性断层、Nogal 隆起的构造也是在侏罗纪—纽康姆期形成的，其走向几乎都是东西向。在 Ogaden 东北部，这些北西和东西向构造受到同期或晚期（晚侏罗世或纽康姆期）北东、北东东走滑断层的走滑作用交切。

主要作用：北东—北东东向拉张，北东向右旋走滑。

主要表现：高角度倾向滑动到北东东向倾向滑动。

主要构造：高角度断层、宽大地垒和半地堑、横向走滑断层、沿岸地区生长断层。

3）纽康姆期—渐新世晚期隆起

本期区域隆起总的来说引起北西向上翘和早期构造复活。

Mandera—Lugh—Sidamo 地区大面积抬升与挤压作用有关。纽康姆晚期—晚白垩世，北东向断层走滑作用总体来说产生了微弱的表皮褶皱和椭圆型穹窿，在索马里，这些构造走向北东，而在肯尼亚则走向南北。在 Tamalo 宽缓向斜边缘存在 Sengif 和 Garbadarre 两个狭长的紧密褶皱带，它们沿总体直立的断层分布，系花状构造，与北东向断层走滑有关。

在盆地东部，产生了一系列雁行式排列的非对称地垒。在 Mudugh 坳陷，边缘坳陷阶段的巴列姆期至始新世晚期一直处于拉张背景，产生了大量东西向—北西西向正断层和地垒

—地堑地形，引起 Marda—Belet Uen 断裂带再次活动和 Ogaden 东部横断裂作用。

沿岸坳陷为继续发展的被动大陆边缘，构造走向相同，平行于海岸线。

主要作用：沿北东向断层挤压。

主要表现：倾向滑动和侧向滑动。

主要构造：反转构造（包括低幅度背斜和穹窿），2 个狭长紧密褶皱带，花状构造。

4）渐新世晚期至今

索马里盆地进入边缘坳陷盆地演化阶段，在早期地垒块上形成后裂谷期披覆构造，正断层复活。

5. 油气生成与运移

盆地现今地温梯度总体较低，大部分地区地温梯度小于 1.5℃/100m，但在 Bur Acuba 基底出露于东部，Mudugh 坳陷的沿岸隆起区，地温梯度有所增加，为 2～2.5℃/100m。

在 Ogaden 坳陷，生油窗顶界深度在 Bodle 1 油田为 3 570 m，其他地区为 2 400～2 700 m，生油窗底界深度为 4 500 m。在 Mudugh 坳陷，生油窗一般都是 3 400～3 600 m。在 Coriole 1 和 Dobei 1 等井区，森诺阶—古新统烃源岩生油窗顶界在 3 000～3 500 m 之间，底界可达 5 500 m。

生油窗深度的变化，特别是在一些地区埋深过浅，这是由于纽康姆期或始新世中期以来上覆地层遭剥蚀所致。

沿 Ogaden 坳陷中轴，大多数前侏罗纪地层已处在生气带。在晚侏罗世—巴列姆期，Bokh 泥页岩即经历了生油阶段，并于晚白垩世—古新世进入生气期。

Hamanley 烃源岩成熟于晚侏罗世，在纽康姆期达生油高峰，Uarandab 泥页岩成熟于麦斯特里希特期；白垩系中部烃源岩成熟于渐新世晚期—中新世晚期；而大石膏层烃源岩到现今才成熟。

在沿岸坳陷中，三叠系—下侏罗统烃源岩现已埋至 4 600～7 000 m，已过成熟（R_o=2.2%），它们可能在晚侏罗世或早白垩世即开始生油，并于第三纪早期进入生气阶段。另一方面，森诺阶—古新统烃源岩直到第三纪晚期才进入生油窗。

Calub 地区天然气可能运移在早白垩世即进入同时形成的构造中。Hamanley 组、Uarandab 组、大石膏层和 Faf—Gumbura 组烃源岩在晚白垩世—古新世才生油生气，晚于圈闭形成期。

总体来说，油气运移距离一般较短，仅几千米至几十千米，以断层垂向运移为主，部分横穿断层作侧向运移。

6. 含油气组合

迄今为止，在索马里盆地的油气发现仅少数几个，已证实存在 3 个含油气组合（或油气聚集带）。

1）二叠系—三叠系构造—地层型含油气组合

Calub 砂岩储集层为 Bokh 泥岩盖层封盖，Adigrat 砂岩储集层则为 Hamanley 碳酸盐岩和蒸发岩盖层封盖，圈闭类型为基底凸起之上的宽大披覆构造，部分为两侧倾斜北西向断块圈闭。

该含油气组合包括盆内最大油气的发现（其储集层为 Calub 砂岩，天然气储量为 2.17×10^{12}ft^3），它是盆内最重要的含油气组合，若以油当量计，其可采储量约为全盆的一半。

2）侏罗系构造型含油气组合

该含油气组合以 Ogaden 中部 Hilala 1 和 Tuli 1 等 2 个非商业性油气发现为代表，气储量约占全盆的 5％。在 Hilala 1 地区，储集层有 2 层：Hamanley 组中部白云岩化砾屑灰岩，为组内蒸发岩所封盖；Hamanley 组顶部生物碎屑灰岩，为 Uarandab 泥页岩所封盖。圈闭类型为掀斜断块。在 Tuli 1 地区，储集层为 Adigrat 组，是该地区次要储集层。

3）森诺阶—始新统构造—地层型含油气组合

该含油气组合储集层为 Sagaleh 组和 Maria Asha 组砂岩及 Coriole 组碳酸盐岩，为组内盖层封闭；圈闭类型为 Coriole 掀斜断块和 Afgoi 地垒，同时受到岩性的明显控制。该含油气组合气储量约占全盆的一半，油储量占全盆的绝大部分。

7. 含油气系统

索马里盆地具有 3 个含油气系统。

1）Bokh－Calub 含油气系统

该含油气系统的烃源岩为 Bokh 泥页岩，储集层为 Calub 组和 Adigrat 组砂岩。系统持续时间为二叠纪至 5 Ma，结束于烃源岩生气期末。

（1）油气生成：烃源岩在晚侏罗世开始生烃，在晚侏罗世—纽康姆期达到生烃高峰。油气排出与运移主要时期为晚白垩世。此后，由于沉降作用近乎停止，且地温梯度低，故烃源岩演化程度变化甚微。

（2）圈闭形成：最早形成的圈闭为基底凸起上的披覆构造，在烃源岩沉积之后即已形成，其他圈闭则形成于早白垩世及以前。

（3）最早封闭：在 Bokh 泥页岩作盖层的地区，封盖作用在烃源岩沉积的同时即已形成；而在 Hamanley 组为盖层的地区，封盖作用直到侏罗纪才有效。

（4）油气保存：Calub 组构造基本上未被断层破坏，故保存条件良好。另外，在侏罗纪和白垩纪期间，正断层和走滑断层活动，可能对油气运移和保存有利。

2）*Hamanley* 含油气系统

该系统烃源岩包括 Hamanley 组□湖相石灰岩和 Uarandab 组页岩，在中晚白垩世达生烃高峰。储集层为 Hamanley 组局部白云岩化砾屑灰岩和下伏的 Adigrat 组砂岩。构造圈闭形成发展于晚白垩世—古新世。

（1）油气生成：Hamanley 组烃源岩在晚侏罗世开始成熟，在纽康姆期达到生烃高峰。下伏 Uarandab 组则在麦斯特里希特期达生烃高峰。

（2）圈闭形成：圈闭类型为掀斜断块，其最初形成于早白垩世，但大量形成于晚白垩世。

（3）最早封闭：与烃源岩同组的蒸发岩及下伏 Uarandab 组页岩在烃源岩沉积时即形成了有效封盖作用。

（4）油气保存：沿岸地区为边缘坳陷，圈闭保存条件较好，其遭破坏的主要因素是反向断裂作用。

3）*Sagaleh—Coriole* 含油气系统

该系统烃源岩为森诺阶—古新世烃源岩，成熟于晚第三纪。构造—地层型圈闭形成于始新世—渐新世早期。储集层有 Coriole 组白云岩、Marai Asha 组和 Sagaleh 组浅海相砂岩。

（1）油气生成：由于地温梯度低等因素，烃源岩成熟期相对较晚，现仍处于生油阶段。

（2）圈闭形成：圈闭形成于后裂谷坳陷阶段。

（3）最早封闭：组内泥岩在烃源岩沉积时便形成封盖。

（4）油气保存：由于油气生成晚，故成藏后圈闭遭断层破坏的机会少，有利于保存。然而，储集层相变快，使人们难于分析运移通道和储集层封闭性。

三、油气勘探开发现状与效果

1. 勘探开发概况

索马里盆地是一个面积大、以含气为主的盆地。迄今在盆地内获得有经济价值发现的成功率很低，已钻探井近80口，但仍未建成任何产能，因此，该盆地勘探地质风险很高。

二次世界大战以来，索马里盆地的勘探许可证发放具有比较复杂的历史。在20世纪50年代和60年代，Sinclair公司获得了大部分许可证，但其后大多数大公司和许多小公司都在此盆拥有勘探区块。80年代，在埃塞俄比亚因所有外国作业公司先后纷纷撤离，而许可证区块勘探后劲很少，但在索马里却修改了石油法，吸引埃索公司和埃尔夫公司前往投标勘探后，1988年，Pecten公司首先获得全海域区块的许可证。1990年，索马里内战不断升级，使宣布的石油法无法执行。尽管埃塞俄比亚积极鼓励外国公司勘探其境内地区，包括在1994年公布招标区，但外国公司对其兴趣很小，目前仅Hunt公司在此进行勘探。肯尼亚部分则在1992年道达尔公司结束在1区块的许可证以来，就未再发布招标区。

在20世纪50年代和60年代，Sinclair公司开展了一项重要初探井计划，在埃塞俄比亚和索马里打初探井20余口，但成功率很低，仅在Mogadishu坳陷获得一系列没有工业价值的发现（包括Afgoi、Coriole和Merca）。1973年，Tenneco公司在Ogaden坳陷所钻基准井Calub 1号获得了天然气和凝析油。在80年代，有关政府在Calub地区（在前苏联援助下）和Afgoi地区开展了一些勘探评价工作。索马里盆地肯尼亚部分实际上未进行勘探，至今只钻了3口参数井，均在海上深水区，其中2口为干井。

索马里盆地部分地区偏远，勘探之后供应困难。但盆地中部地形平坦，适宜开展快速的可控震源地震勘探。在该盆地的钻探成本主要受目标深度控制，当目标特别深时，钻井成本高。

由于原勘探公司已撤离，现所有保留区的油气发现都归相关的政府。

到目前为止，索马里盆地尚未进行开发，未钻开发井，也没形成产量。现仅对Calub凝析气田作了开发计划方案，1996年投产，原油产量为1 400 bbl/d，气产量为17.6×10^6 ft^3/d（2 933bbl（油当量）/d），这仅为该气田资源的一小部分。

正如Calub油田项目所证实的那样，政府财政支持是开发所必需的先决条件。在索马里的政治风险很大，这已推迟了Afgoi油田相应的开发进展。盆地边远地区的自然环境，每个国家能源进口状况等因素将促使国家税收体制作相应修改，以增加竞争性。

2. 储量特征及油气丰度

由于该盆地勘探开发程度极低，现在对储量的落实程度很差，通过含油气组合评价，预测全盆地3个含油气组合的最终可采储量为：油0.1×10^6 bbl，凝析油23.35×10^6 bbl，气$44\ 031\times10^8$ ft^3，其油气丰度见表3－6－2。

表3－6－2　索马里盆地油气丰度

类　　型	油	天然气	总　　量
油气丰度	336bbl/km^2	6.3×10^6 ft^3/km^2	1 076bbl（油当量）/km^2

3. 勘探前景

1）Ogaden 坳陷

已发现具经济价值的 Calub 气田和许多油气显示。主要勘探目标是二叠—三叠系构造—地层型含油气组合和侏罗系构造型含油气组合。而蒸发岩以上含油气组合可能保存条件差而非主要勘探目标。

2）Mandera—Lugh 坳陷

迄今仅钻 4 口井，仅获小型油气显示。主要勘探目标：①复杂的掀斜断块，储集层为 Calub 组和 Adigrat 组砂岩，上覆□湖相碳酸盐岩和蒸发岩是其盖层；②Baydoa 组上部砂屑灰岩，其为 Anole 组泥灰岩封盖；③Uegit 生物碎屑灰岩，为 Gabredarre 组蒸发岩封盖。如果 Anole、Uaney、Rachmi 和 Rukesa 等组□湖相石灰岩和泥岩确是烃源岩，则在盆地中心部位，这些烃源岩在侏罗纪和纽康姆期（也即圈闭形成期）即已深埋，演化至生油高峰阶段。

3）Mudugh 坳陷

已发现的油气显示规模小，但该坳陷勘探程度很低，钻井密度仅为 10 500 km^2/口。最有利的勘探目标为坳陷中西部和东北部，在这些地方 Hamanley 组和 Belet Uen—Mustahil 组发育生物碎屑灰岩和生物礁灰岩，累计厚 300～450 m，分布深度在 750～2 150 m，盖层为 Uarandab 组页岩和组内页岩。侏罗系至中白垩统烃源岩的成熟高峰与排烃期为晚白垩世至古新世，在东北部为始新世晚期—渐新世。有许多未钻构造，包括西部的大而低幅地垒、沿岸口海域北东和南北向掀斜断块，以及披覆构造和牵引构造。

4）*Mogadishu* 坳陷

勘探目标为 Sagaleh 组构造—地层圈闭。除 Coriole、Afgoi 和 Merca 等几个小区块外，该含油气组合尚未有效勘探，特别是具可钻探目标的未探区邻近 Bur Acaba 边缘断层，处于沿岸脊和海域中大型边界断层带。在横凸起之间的凹陷中，有利的上白垩统—古新统烃源岩已经进入成熟生烃阶段。烃源岩质量和下部烃源岩埋深都证明本盆地以找气和凝析油为主。

总之，Ogaden 坳陷是东非最有勘探前景的地区之一。Mandera—Lugh 坳陷的勘探前景较难确定，需进一步评价，确定有利的圈闭条件。Mudugh 坳陷的勘探前景为好—中等，可望找到三四个中型油田或气田。沿岸坳陷可望找到小—中型气田和轻质油田。

四、深层油气田（藏）类型、分布及形成机制

索马里盆地有 1 个深层油气田或发现（表 3－6－3）。

表 3－6－3　索马里盆地深层油气田综合特征

油气田	深度（m）	烃类类型	海陆位置	总可采储量（10^6 bbl）（油当量）	储集层地层	储集层岩性	含油气组合
Afgoi	3 874	天然气/凝析油	陆上	353.33	Jesomma 组	砂岩	森诺阶—始新统地层—构造

Afgoi 天然气和凝析油田发现于 1966 年，位于陆上，目前处于开发阶段。最终可采储量：天然气 2×10^{12} ft^3，凝析油 20×10^6 bbl。截至 1984 年共钻 2 口井，其中 1 口为气井。

主要的储集层为上白垩统Jesomma组砂岩，共有2套油藏。深度3 874 m，有效厚度平均3 m。圈闭为掀斜断块，横向有岩性相变。属森诺阶—始新统地层—构造含油气组合。

索马里盆地勘探程度很低，现仅获得3个较大型有经济价值的油气田，数个非经济价值油气发现和一些小规模油气显示。其中深层油气田仅Calub气田1个。

Calub气田位于索马里盆地中部Ogaden坳陷的东南部斜坡上，东北邻Marda断层带。产层为石炭系—二叠系Calub组，为裂谷期第1套地层，与下伏盆地基底为不整合接触。储集层岩性为分选好—中等的石英砂岩，在气田区埋深在3 600～3 850 m之间（图3－6－4），孔隙度较低（<10%），渗透率也很差。盖层为石炭系—二叠系Bokh组湖相泥页岩，其直接覆盖在Calub组之上，与储集层形成良好的连续性组合。圈闭类型为背斜，系在基底凸起之上形成的披覆构造，亦有后期改造作用，平面形态为穹窿状，高点埋深约3 620 m，闭合度大于100 m。可以推测，圈闭初始形成于裂谷初期Calub组沉积时，后被进一步改造加强。

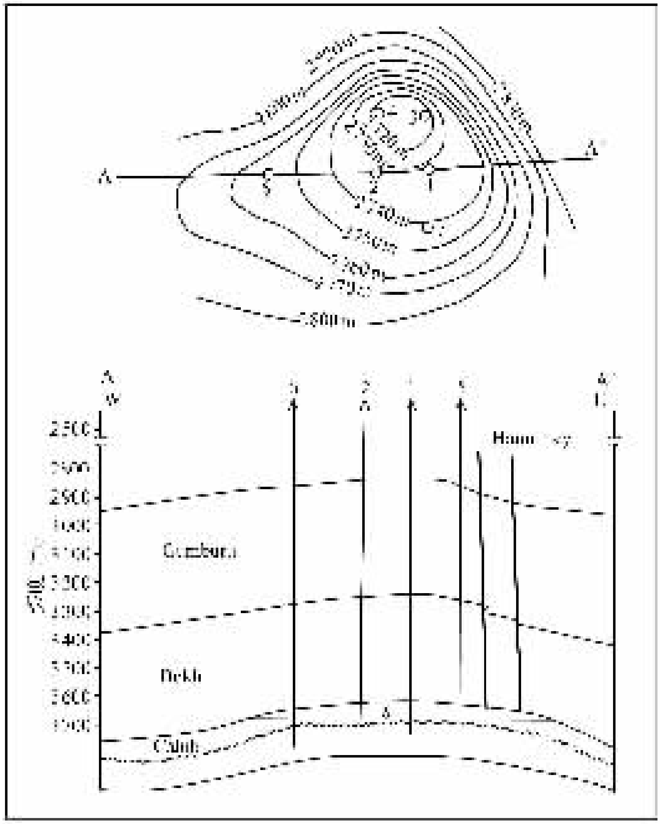


图3－6－4　索马里盆地Calub气田构造顶部等值线及剖面图
（据Kidane A，1992；Uneswa Symposium，Damasus，1992）

Calub气田的气藏属层状构造型底水干气藏，气来自上覆Bokh组泥页岩，该烃源岩为湖相沉积，*TOC*一般小于0.5%，个别高达5%，干酪根为Ⅱ—Ⅲ型。在盆地演化过程中，其稳定沉降，在晚侏罗世—巴列姆期即已成熟，并于晚白垩世—古新世进入生气阶段。所生大量天然气，从烃源岩排出，垂直向下倒灌入Calub组储集层并作侧向运移聚集于斜坡上圈闭中成藏。因此Calub气田成藏期为晚侏罗世—古新世。

五、小结

（1）在东冈瓦纳大陆解体、印度洋发展及全球海平面升降的控制下，索马里盆地演化极为复杂，大致可分为前裂谷基底形成期、石炭纪—纽康姆裂谷期及巴列姆期至现今的后裂谷期3期7个小阶段，发育了石炭系—二叠系、上三叠统、侏罗系、白垩系及第三系。

（2）有效烃源岩主要发育于石炭系—二叠系、侏罗系、下白垩统及古新统、始新统，烃源岩为深灰色、黑色泥页岩及煤层，干酪根为Ⅱ—Ⅲ型，*TOC*一般小于0.5%～3.0%，以生气和凝析油为主，少量轻质油。由于盆地地温梯度总体较低，故烃源岩生油窗埋深大，顶界埋深2 400～3 570 m，底界埋深4 500～5 500 m。生油窗埋深变化（部分地区过浅）系烃

源岩成熟后上覆地层遭剥蚀所致。各套烃源岩演化过程不同，Bokh 组页岩在晚侏罗世—巴列姆期即成熟生油，并在晚白垩世—古新世进入生气期，而大石膏层烃源岩则到现今才成熟。油气运移距离一般较短，以垂向运移为主。

（3）有效碎屑岩储集层分布在石炭系—二叠系、侏罗系、古新统和始新统，均为砂岩，由于埋深较大和钙质、硅质胶结，孔渗条件一般较差。有利的碳酸盐岩储集层分布在 Gira、Cotton 和 Hamanley 等组，系生物碎屑灰岩及生物礁灰岩，局部白云岩化，孔渗性好。

（4）有利的区域盖层有 Uarandab 泥页岩—Anole 泥灰岩和大石膏层，地区性盖层有 Taleh 组蒸发岩，Hamanley 和 Gabredarre 组中硬石膏、致密碳酸盐岩，另还有大量局部盖层。

（5）盆地以掀斜断块、断垒、反向断裂等伸展构造为主，其他具勘探价值的构造还有披覆构造和挤压褶皱。

（6）盆地内已确定了二叠系—三叠系构造—地层型、侏罗系构造型和森诺阶—始新统构造—地层型 3 种含油气组合，并划分了 Bokh—Calub、Hamanley 和 Sagaleh—Coriole 等 3 个含油气系统。

（7）索马里盆地是一个大型含气盆地，现在勘探程度很低，勘探成功率也很低，仅获得几个具经济价值的油气发现。储量落实程度很差，预测储量及油气丰度不大。开发工作尚未开始，全盆未形成产量。由于地质条件复杂，边远区地理条件差，加之政治因素，故本盆地勘探风险大。

（8）盆地下一步勘探有利区有：Ogaden 坳陷（勘探目标层系：二叠系—三叠系、侏罗系）、Mandera－Lugh 坳陷（勘探目标层系：Calub 组和 Adigrat 组砂岩、Baydoa 组砂屑灰岩、Uegit 组生物碎屑灰岩）、Mudugh 坳陷中西部和东北部（勘探目标层系：Hamanley 和 Belet—Uen—Mustahil 组生物碎屑灰岩和生物礁灰岩）和 Mogadishn 坳陷（勘探目标层系：Sagaleh 组）。

参 考 文 献

Assefa G. **1988**. Potential hydrocarbon generating rock units within the Phanerozoic sequence of the Ogaden Basin，Ethiopia：A preliminary assessment using the Lopatin Method. Journal Petroleum Geology，**11**，**461～472**

Besse J，Courtillot V. **1998**. Paleogeographic maps of the continents bordering the Indian Ocean since early Jurassic. Journal Geophysical Research，**93**，**11791－11808**

Boccaletti M，Getaneh A，Bonavia F F. **1991**. The Marda fault：A remnant of an incipient aborted rift in the Paleo－Africal Arabian Plate. Journal of Petroleum Geology，**14（1）**，**79－92**

Bosellini A. **1986**. East African continental margins. Geology，**14**，**76－78**

Bosellini A. **1989**. The continental margins of somalia：Their structural evolution and sequence stratigraphy. Mem. Scienze Geologiche Univ. Padova，XLI，**373－458**

Bosworth W. **1992**. Mesozoic and early Tertiary rift tectonics in east Africa. Tectonophysics，**209**，**1－23**

Bosworth W，Morley C K. **1994**. Structural and stratigraphic evolution of the Anza rift. Kenya. Tectonophysics，**236**，**93－115**

Coffin M F，Rabinovitz P D. **1990**. Evolution of the conjugate east African Madagascar

margins and of the Western Somali Basin. Geological Society of America, Special Paper, **226**, **78**

Lambiase J J. **1988**. Tramework of African rifting during the Phanerozoic. Journal African Earth Sciences, **8** (**2**—**4**), **183**—**190**

Naleye A M, Harms J. **1993**. Petroleum exploration in Somalia. In: Abbate E, Sagri M, & Sassi P. F (eds). Geology and mineral resources of smomalia and surrounding regions. Monografie Agrarie Subtropicali e Tropicali, **113**, **417**—**428**, Itituto Agronomico Oltremare

Schull T J. **1988**. Rift basins of interior Sudan: Petroleum exploration and discovery. AAPG Bulletin, **72**, **1128**—**1142**

Winn R D Jr, Steinmetz J C, Kerekgyarto W L. **1993**. Stratigraphy and rifting history of the Mesozic—Cenozoic Anza rift, Kenya. AAPG Bulletin. **77** (**11**), **1989**～**2005**

Worku T, Astin T R. **1992**. The Karroo sediments (Late Paleozoic to Early Jurassic) of the Ogaden Basin, Ethiopia. Sedimentary Geology, **76** (**1**—**2**), **7**—**21**

Zanettin B. **1993**. Stratigraphy, magmatism and structural evolution of the ethiopian volcanic Province. In: Abbate E, Sagri M, Sassi P F (eds). Geology and mineral resources of Somalia and surrounding regions. Monografie Agrarie Subtropicali e Tropicali, **113**, **279**—**310**, Istituto Agronomico Oltremare

第七节　桑托斯盆地

桑托斯（Santos）**盆地是巴西陆架盆地中最大的一个盆地，其面积为 312 800** km²**，它包括巴西东南沿海的大陆架地区，毗邻圣卡塔琳娜州**（Santa Catarina）、**巴拉纳州**（Paraná）、**圣保罗州**（São Paulo）**及里约热内卢州**（Rio de Janeiro）。**盆地长约 700**km，**位于南纬 23°～29°之间**（**图 3—7—1**）。

桑托斯盆地的北部以卡布弗里乌（Cabo Frio）**群岛的枢纽线与坎波斯**（Campos）**盆地相隔，南部以弗洛里亚诺波利斯**（Florianopolis）**群岛与佩洛塔斯**（Pelotas）**盆地相隔。桑托斯盆地北北东至南南西倾向枢纽线之上的地层向陆附近地区减薄，该盆地与陆上古生代巴拉纳盆地之间被一北北东向** Serra do Mar **的前寒武系岩层分隔，前寒武系岩层抬升 2 900** m。**桑托斯盆地的沉积楔向海方向在圣保罗台地的火山岩岩层上减薄，圣保罗台地覆盖面积约 144 000** km²，**它把桑托斯盆地与巴西洋盆分开，其层序包括前期盐丘和后期盐丘沉积，但位于 2 000** m **等深线的大陆架和斜坡地带勘探程度很低**。

一、区域地质

桑托斯盆地是一系列沿着海岸平原、大陆架及东巴西边缘海洋平原延伸的被动大陆边缘盆地中的一个，也是南大西洋早白垩世的一个重要裂谷盆地。桑托斯盆地沉积楔在其主沉积中心厚达 10～12 km，**地震测试数据表明，在远离浅海 200** km **的盆地基底深度约为 12** km。

1. **盆地演化**

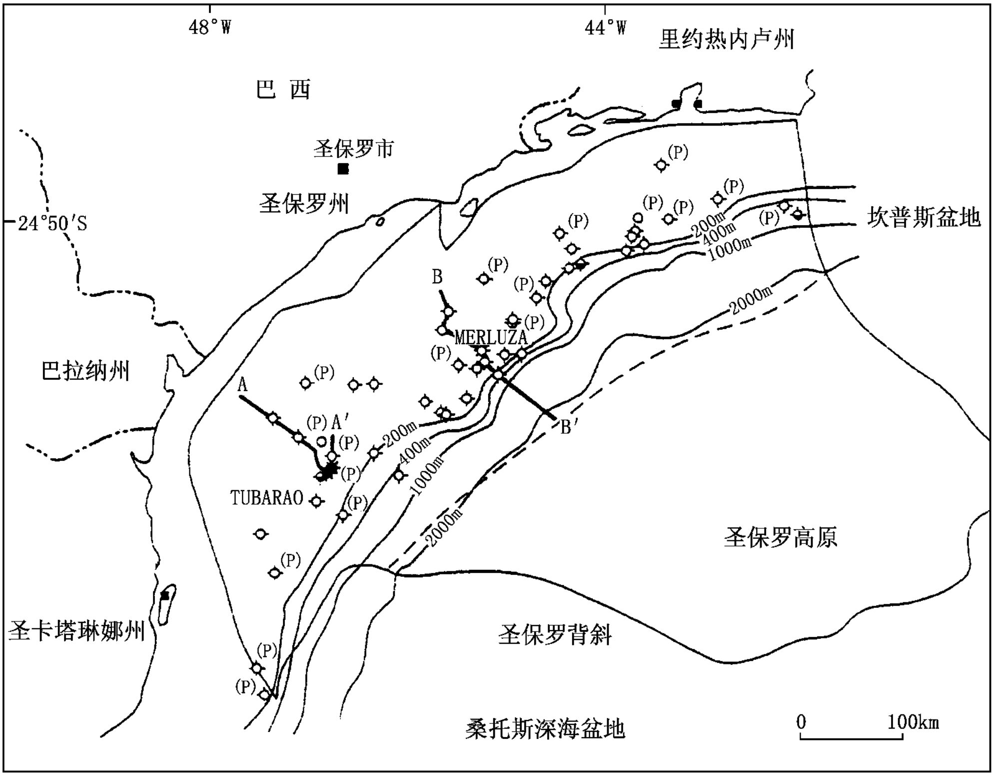


图 3—7—1　桑托斯盆地位置图

（**引自** Petroconsultants，**1994**）

1）**裂谷层序形成期：白垩纪豪特里夫期至早阿普第期**（130—120 *Ma*）

研究表明，桑托斯盆地发育在与前裂谷期北北东向热隆有关的区域性隆起区。盆地的北北东走向受控于前寒武系基底的走向（图 3—7—2）。桑托斯盆地裂陷初期和南大西洋的漂移由广泛分布的喷出高原玄武岩所记录，这些高原玄武岩沿着东巴西裂谷系及大陆边缘分布。在桑托斯盆地边缘的火山岩（Camboriú **组）的** K—Ar **的测年为 120～130** Ma。Guaratiba **组的上覆地层由河流和湖泊巨层序组成，这一地层的已知数据很少。**

2）**主要海洋层序期：中至晚阿普第期**（120—112 *Ma*）

桑托斯盆地热沉降由沿着平行于海岸的 Serra do Mar **山系枢纽线的基底挠曲形成。在中阿普第期，南部的海侵形成了沿东巴西裂谷体系分布的狭长海道。**Walvis—**圣保罗山脉以南的有限海水循环使整个桑托斯盆地在阿普第期蒸发处于闭塞的含盐环境，从而形成了** Arri **组的蒸发岩层序。该蒸发岩层序受钾盐镁矾作用影响，这使地层厚度估算比较困难，在桑托斯盆地已经确认的盐区有 5 个。**

3）**海相碳酸盐岩大洋层序形成期：阿尔布期**（112—97 *Ma*）

从古生物数据上可以看出，阿尔布期由于海水通道的逐渐展开导致海侵，进而在浅海条件下发展形成了碳酸盐岩台地（Guaruj*á* **组）。在盆地内边缘，发育滨岸—三角洲相的大陆碎屑岩沉积物。**

4）**局限海碎屑岩层序形成期：西诺曼期至中土仑期**（97—89*Ma*）

在阿尔布晚期一次明显的海平面上升致使海侵淹没了碳酸盐岩台地，并一直延续到中土

仑期。然而在 Walvis—圣保罗山脉的北部，水循环受到限制，导致底部沉积物产生脱氧作用，因而在西诺曼期及中土仑期，富含有机质的页岩聚集，这些下 Itajai 组的页岩是在水深 100～300m 的条件下形成的，并与第二次全球性的缺氧事件有关。

5）晚白垩世海退形成期：晚土仑期至麦斯特里希特期（89—70*Ma*）

上 Itajai 组标志着晚土仑期海退层序的开始，以向海的进积三角洲体系为特征。在坎佩尼期，巨厚（>1000 m）的冲积扇、河流及滨岸沉积物层序形成于这种背景，并一直持续到早第三纪。这种逐步过渡到浅海碎屑岩的上白垩统至下第三系巨厚沉积物（桑托斯组）的物源来自于隆起区的 Serra do Mar 山脉，在这一阶段，沉积速度与沉降速度相同，甚至比沉降速度要大。在其他一些陆边缘盆地，尽管非海相沉积物只局限地发育在盆地的内边缘，但在桑托斯盆地，这种厚达 3 000m 的退积楔非常独特，它覆盖了现今大陆架及部分大陆斜坡。

退积层序从上 Itajai 组开始出现，但其主要发育在桑托斯组。桑托斯组包括 3 个逐渐增厚的前积楔，大致为下桑托斯（桑托斯阶至坎佩尼阶）、中桑托斯（下坎佩尼阶至上坎佩尼阶）及上桑托斯组的下部地层（麦斯特里希特阶），其间均以不整合相接触。在每个沉积楔内部，层序从非海相粗粒滨岸沉积相过渡到大陆架内部砂、页岩相，直至离大陆较远的深海相页岩（Jureia 组）。

6）晚白垩世至第三纪海进期（70—0 *Ma*）

新一轮的海进从晚麦斯特里希特期一直持续到晚始新世或早渐新世，并伴随着大陆边缘开始塌陷。这种层序在晚麦斯特里希特期开始形成，并发育在外盆地区，在始新世或渐新世出现在内盆地区。在这种层序内存在一个早始新世的区域性反射面（H_8），它把上桑托斯组与下 Marambaia 组分开，而 Marambaia 组代表了盆地的最大海进沉积。围绕内盆，Marambaia 组斜切所有前积层序并超覆到前寒武系基底上，其岩相由深海相石灰岩和泥岩互层及广泛分布的浊积砂岩组成。

2. 构造特征

1）同生裂谷阶段：早白垩世

在南大西洋扩张之前，桑托斯盆地在前裂谷热隆的峰顶附近发育成长，形成了一个区域热隆起。这一热隆的残余部分形成了现今的 Rio Grande 群岛，Rio Grande 群岛沿盆地南翼形成了抗震的火山山脉，这些山脉的初始断裂发生在晚侏罗世期间。在巴西沿岸靠近桑托斯盆地的海上部分，其岩浆活动高峰在 130—120Ma。桑托斯盆地和卡布弗里乌群岛之间的岩脉群与海岸平行，但其走向为北西—南东向，与山脉平行，与 Ponto Grossa—Rio Grande 群岛的海岸垂直。

对于桑托斯盆地的裂陷构造，人们目前研究得还不够，这是由于其中的蒸发岩厚度及其后裂谷期沉积物的影响造成。航空磁测表明，强烈的北东向线性构造特征可能代表基底岩组走向，而不是断裂构造。北东向的枢纽带分隔了盆地内较浅的部分，这些地区的第三系沉积在同生裂谷层序和盆地基底之上；而在盆地的深部，断裂构造以倾斜断块为代表。

盆地的南、北边界与大洋转换断层的凸起一致，里约热内卢转换带沿晚前寒武纪剪切带的剪切线分布。

主要作用：北西—南东向的拉张。

主要表现：岩脉侵入伴生抬升，随后为岩脉侵入、断裂及沉降。

主要构造：岩脉、正断层及倾斜断块。

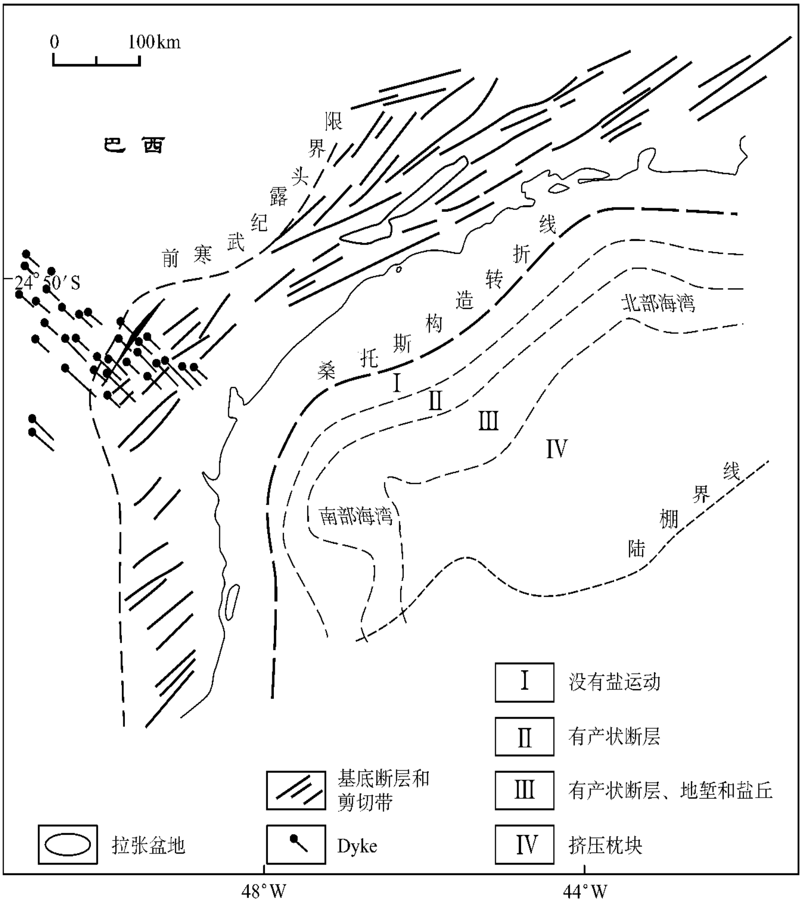


图 3－7－2 桑托斯盆地构造带分布图

（Petroconsultants，1994）

2）后裂谷期的热沉降阶段：阿尔布期至新近纪

均衡岩石圈拉张模型已经用来解释桑托斯盆地的热沉降，同生裂谷和后裂谷中地壳减薄主要局限分布在枢纽线的向海部分，枢纽线的向陆部分由上覆第三系海相沉积物控制。在枢纽线的东部计算出的地壳减薄为35％，而陆架坡折地区，地壳减薄为70％。

盐的流动始于阿尔布期，并一直持续到晚白垩世。第三纪盐的收缩停止，但盐的底辟一直在上升（图3－7－3）。

向陆和向海倾斜的正断层产生时，通常都伴随着盐墙的形成，其高度达5km以上，其横剖面为三角形。人们认为这些正断层与熔岩壳的区域性重力滑塌有关，比如坎波斯盆地的

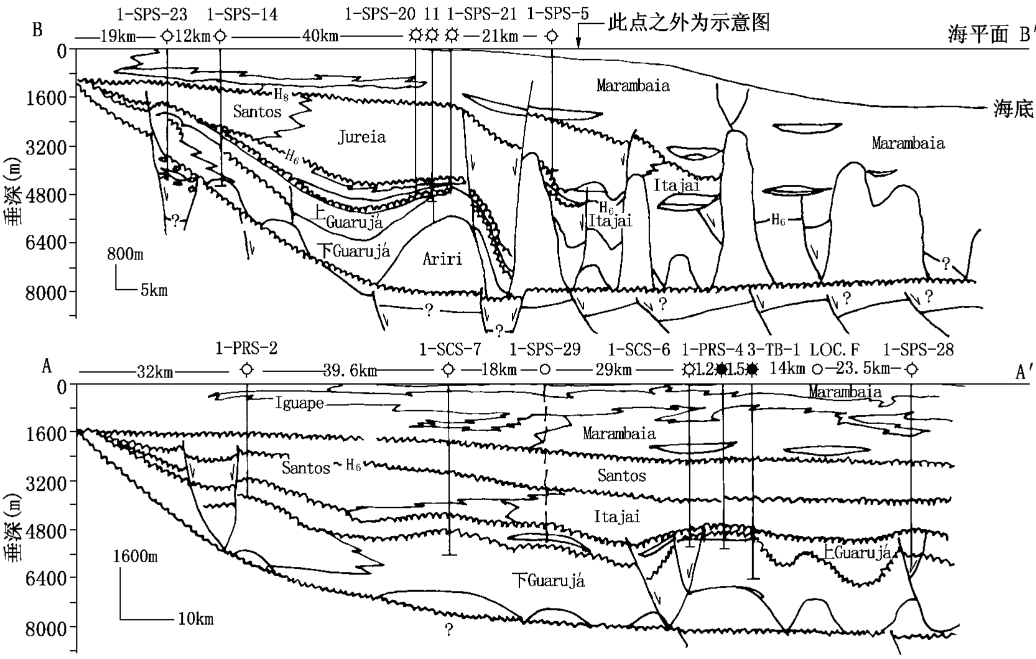


图3－7－3　桑托斯盆地区域性横剖面图

（据Jorge de Moraes・Junior J等，1990）

北部。然而在一些地区，尤其是在桑托斯盆地南部的远源地区，宽阔的盐底辟与向陆倾斜的正断层相伴生，这些现象同盐熔收缩后沉积物与之接触有关。在桑托斯盆地的北部，扩张范围大致为 200 km，呈明显的弓形。倾向测线表明了扩张，而走向测线很少能表明水平方向的应变。在桑托斯盆地的南部，扩张范围大致为 300 km。

桑托斯盆地的深部以大规模的盐底辟为特征，其波状起伏的顶部被薄的生长褶皱沉积层序所覆盖。盐在局部上已经刺穿沉积物，然而桑托斯盆地的下部，盐丘显示出水平方向沿倾向收缩。已有证据证明盐岩沿着最深的走向和倾向收缩，这一模式是由大面积的放射性汇聚流动所产生。

主要作用：盐熔壳后期的北西—南东向拉张。

主要表现：沉降；盐丘后期沿倾斜面向东及南东方向的重力滑塌；盐丘后期的断裂；盐底辟的复活及盆地海上深部的压缩性枕状岩熔的形成。

主要构造：铲状正断层；盐底辟的复活，活跃的盐底辟；下沉形成被动盐丘。

3）滨岸山脉的抬升阶段：晚白垩世至古近纪

在晚白垩世至早第三纪，沿滨岸带枢纽线的隆起十分显著，为上白垩统提供了大量的沉积物物源。上白垩统至下第三系的抬升事件伴随着岸上的碱性岩浆活动。在盆地的近岸部分，上坎佩尼阶顶部的强烈角度不整合标志着抬升的开始，这使上覆前积砂岩和下伏深海相页岩呈不整合接触。

盐的运动在整个第三纪持续发生，在被动刺穿和下沉形成作用下，盐枕发育成盐栓、盐墙。与盐运动和下沉形成相关的刺穿作用在晚第三纪已经停止，但一些具盐丘特征岩体继续形成，其中某些盐丘刺穿了现今海床。

主要作用：北西—南东向的拉张。

主要表现：盆地近岸部分抬升；盆地深部沉降；后期盐熔壳的重力滑塌；盐丘收缩。

主要构造：铲状断层；盐丘收缩地堑；活跃及被动盐丘。

3. 地层简介

1）下白垩统

（1）Camboriú 组：为大陆边缘火山碎屑岩沉积，时代属于豪特里夫期（表 3—7—1）。

（2）Guaratiba 组：由河流—湖相的碎屑岩及石灰岩组成，与下伏地层为不整合接触，厚度约 1 500m。

（3）Ariri 组：为局限海相的盐类沉积，主要为蒸发岩层序，厚 400～3 000 m，与下伏地层为不整合接触，它也是该盆地惟一的区域性盖层。

2）上白垩统

（1）Guarujá 组：该组分为上、下两段，分别称下 Guarujá 和上 Guarujá 组，为过渡环境至深水沉积。下部以石灰岩为主，上部以砂岩为主。与下伏地层为整合接触，总厚度约 1 500m。

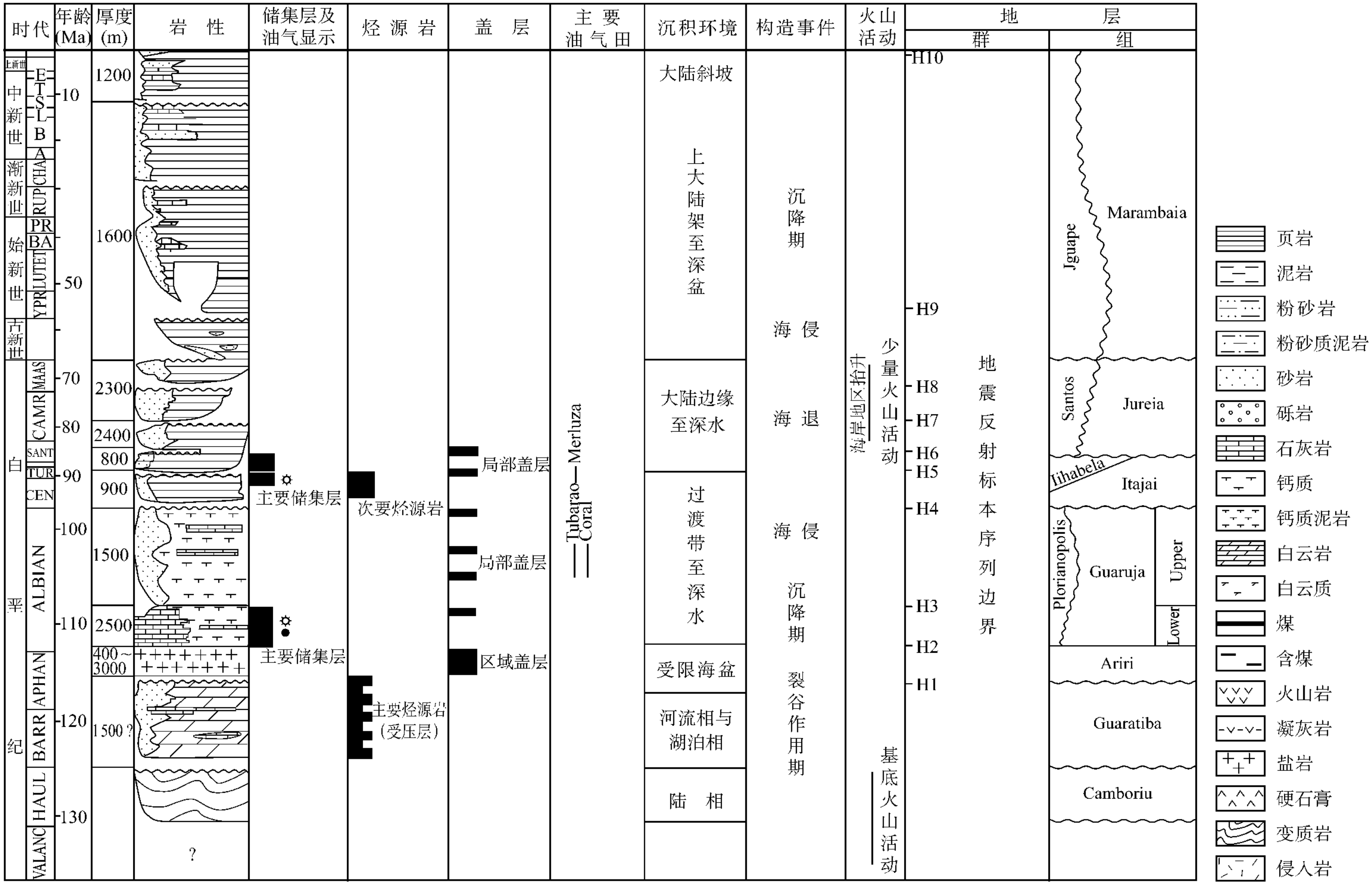
（2）Itajai 组：在沉积环境上与 Guarujá 组并无大的变化，主要以向海进积的三角洲沉积为特征，其中的浊积砂岩属于该组的 Ilhabela 段，该段是桑托斯盆地的主要储集层之一。该组沉积厚度为 900m，与下伏地层呈不整合接触。

（3）Jureia 组：为大陆边缘至深水沉积。

3）第三系

该盆地第三系只有 1 个组，即 Marambaia 组，它是盆地最大海进沉积的产物，岩相由

表 3—7—1　**桑托斯盆地综合地层**(Petroconsultants,1994)



深海相石灰岩和泥岩互层，为陆棚至深水沉积环境，该组中广泛分布有浊积砂岩。

二、含油气性

1. 烃源岩

1）巴列姆亚阶—阿尔布阶：*Guaratiba* 组

桑托斯盆地的主要烃源岩分布在 Guaratiba 组的前盐丘层序内，然而收集到的地化数据很少。缺氧沉积物沉积在 Rio Grande—Walvis Bay 火山北部的局限裂谷内。

烃类的成熟度随盆地的横断面而变化。在水深较浅处（<400 m），上白垩统至第三系后期盐丘沉积物覆盖很厚，下—中白垩统烃源岩埋深达 7～8 km，已达到成熟或过成熟。这一地区可采油气的油质较轻，为气、凝析油及轻质油，其比重大于 40°API，稠油预计出现在更大的水深范围，其上的后期盐覆盖比较薄。

2）西诺曼阶—下土仑阶：下 *Itajai* 组

在桑托斯盆地的中部至西南地区，其深水海相页岩沉积在富氧与缺氧相互转换的条件下，这表明其具有生烃潜力。这些页岩属于下 Itajai 组，并代表了中白垩世的全球缺氧事件。以 1—SCS—5 井为例，页岩含有机碳量为 1%～2.5%，生烃潜力平均为 3～4 kg/t，有机质最富的层位，其生烃潜力达 12.9 kg/t。烃源岩主要为生油岩，也含富气源岩层。盆地中部至西南部的镜质组反射率平均值可达 0.7%以上，这表明其有机质只达到了中等成熟。

古温度指示剂（孢粉颜色和镜质组反射率大小）表明在第三纪期间，盆地具有较低的地温梯度的特点，计算出的生油门限深度在 3 600～4 500 m 之间。在晚第三纪的后期，大多数西诺曼阶烃源岩埋深接近生油门限的深度，因而在晚第三纪的后期西诺曼期只生油。然而，由薄皮的扩张作用及盐的收缩作用形成深大地堑，其西诺曼阶至土仑阶的 Itajai 组埋深在 5～7 km 之间，在这一深度西诺曼阶至土仑阶的沉积物现今已过成熟，并可能在早第三纪已经成熟。

2. 储集层

主要目的层大多位于水深小于 400 m 的地区，通常油藏埋藏很深（>4 000 m），其特点是保存了原始孔隙度，比如在埋深为 5 000 m 的地方，其孔隙度为 18%。

1）阿尔布阶：下 *Guarujá* 组

Tubarão 油田的下 Guarujá 组是在碳酸盐岩层序的上部发育，它由 3 个多孔隙的层位组成，从下到上分别为 B_1、B_2 和 B_3，它们之间以非渗透性层相隔。孔隙度介于 12%～24%之间，良好的孔隙度一直保持到 4500 m 以下。B_1 储集层具高孔隙度和低渗透率的特点，含挥发性油，具低 H_2S 含量；而 B_2 储集层具高孔高渗特点，含凝析气，具高 H_2S 含量。储集层岩相有 8 个主要岩相类型，包括粒状灰岩、泥粒灰岩及粒泥灰岩。粒状灰岩的不同类型（主要为鲕粒或核形石）代表浅滩脊部的高能环境，而鲕状或核形石泥粒灰岩主要沉积在浅滩的两侧环境，而球粒和粒泥灰岩则充填于在整个凹陷之中。现已识别出 2 种成岩序列，B_1 储集层中方解石胶结的具有 2 个世代，是大气潜水活动沉积的产物，它堵塞了粒状灰岩中的部分原生孔隙；B_2 储集层受海相潜水成岩作用和随深度而变化的成岩过程影响，尽管如此，但这 2 种作用仅仅使原生孔隙度减少很小一部分。

2）晚土仑阶：*Ilhabela* 段

在 Merluza 气田，浊积砂岩属于 Itajai 组 Ilhabela 段，其平均孔隙度在 4 700 m 处为 21%（1—SPS—20 井），在深度 4 900 m 处为 16%（1—SPS—25 井）。这些孔隙度数据比巴西其他油藏在这些深度的孔隙度数据要大得多，并且主要为原生孔隙。砂岩大多为细至粗粒

砂岩，分选中等至差；其粒间孔隙大多保存下来，粒内孔隙很低（>0.5%），这是由于长石和火山碎屑存在的原因。由于绿泥石的次生加大堵塞了孔喉，因而渗透率较低。

3）桑托阶：底 *Jureia* 组

Jureia 组底部砂岩孔隙度在 4 450 m 处为 12%（1—SPS—25 井），砂岩为细至粗砂岩，中等分选，交错层理发育，属典型的浅水沉积，成岩变化主要受强烈的压实作用影响。

4）第三系浊积砂岩

第三系浊积砂岩可能是桑托斯盆地深部及大陆斜坡地带最重要的油藏所在。

3. 盖层

1）阿普第阶：*Ariri* 组

Ariri 组蒸发岩形成了区域性盖层，它的破裂才能使油气从下白垩统烃源岩向上运移。

2）阿尔布阶：*Guarujá* 组

Guarujá 组中的页岩形成了下 Guarujá 组碳酸盐岩储集层的盖层。

3）土仑阶：*Ilhabela* 段

在 Ilhabela 段顶部的页岩也形成了一个有效的盖层。

4. 运移

油气要从前期盐丘烃源岩中运移出来，要求盐丘发生收缩，在前期盐丘烃源岩和后期盐丘储集层之间形成一个接缝。接缝的形成发生在晚白垩世和早第三纪，是由后期盐熔壳的重力滑塌形成。

油气从白垩系土仑阶烃源岩中运移至下阿尔布油藏中，是由于后期盐熔壳的断层伸张致使烃源岩构造上超到储集石灰岩之上。这种烃源岩与储集层并置发生在晚白垩世和早第三纪之间，是由后期盐熔壳重力滑塌造成的。

油气从白垩系土仑阶烃源岩中运移到上白垩统储集层中，是由于侧向运移造成的，油气可能是沿断层运移。

5. 主要含油气组合

1）含油气组合类型

（1）下 Guarujá 组油气组合：包括 7 个油田和油气发现，其油气储量占桑托斯盆地总储量的 89%。其中油、凝析气和气分别各自占整个盆地油、凝析气和气的 98.6%、31%和 74%。油藏类型为构造—地层型及构造型。

下 Guarujá 组构造—地层油气藏目前在 2 个油田和油气发现中见到，其中 Tubarão 油田占桑托斯盆地中油储量的 24.7%，凝析油占 31%，而气占 36%。

Tubarão 油田是桑托斯盆地阿尔布阶 Guarujá 组中第一个具有工业价值的油气发现。储集岩石发育在碳酸盐岩序列的顶部，埋深在 4 500 m 以下，由 3 个层段组成，分别为 B_1、B_2 和 B_3，孔隙度在 12%～24%之间，分别被低渗透带所分隔。圈闭为断层拉长的北东—南西向倾斜的穹窿，其下伴随盐的运动。南北向主断层把构造分成 2 块，储集层的沉积相和厚度变化跨越了褶皱和断层，因而形成了构造—地层控制油气藏。

下 Guarujá 组构造油藏包括 5 个油田或发现，拥有桑托斯盆地 74%的油储量和 38%的气储量。构造圈闭包括枕状构造和断块，它们是由碳酸盐岩台地层序和阿普第盐丘上覆页岩组合形成。

（2）Ilhabela 段含油气组合：包括 2 个油田或发现，其中 Merluza 和 1－SPS－025B 油田包括桑托斯盆地总储量的 10.2%，圈闭类型为构造—地层型。

Ilhabela 段构造—岩性油气藏包含桑托斯盆地 26% 的气储量和 69% 的凝析油气储量。

Merluza 油田是桑托斯盆地中发现的第一具有工业价值的油田，其圈闭类型为构造圈闭，并与盐丘的枕状构造有关。

（3）其他的次要含油气组合：有 Marambaia 组岩性油藏（包括盆地 0.7% 的油气储量）；1 个油气发现和 1 个未分类的油气发现（1－SPS－031），大约有超过 2×10^6 bbl 的油。

2）含油气组合分布

桑托斯盆地有 2 个典型的含油气组合，它们在盆地中广泛分布，Ilhabela 主要分布在盆地的北部，Merluza 油田就位于其中；而下 Guarujá 组形成了盆地南部和中部良好的油气远景。

3）封闭时间

储集层封闭时间主要是在储集层沉积后由层内页岩封闭。

4）影响油气有效圈闭的因素

（1）油气生成：从第三纪至今的埋藏期间。

（2）圈闭形成：圈闭通常为与盐丘运动有关的构造—地层圈闭。构造与石灰岩和浊积岩的沉积同时形成，因此控制了储集层中的相变和尖灭。

（3）最早封闭：储集层沉积后立刻被封闭。

6. 含油气系统

依据不同的烃源岩，在桑托斯盆地中可划分出 2 个含油气系统，一个是西诺曼阶—土仑阶，另一个为下白垩统。在上白垩统烃源岩和含油气系统中有足够的地化数据可以确定其烃类特点及其成熟度，而下白垩统烃源岩和含油气系统中却没有足够的数据。

1）上白垩统含油气系统

桑托斯盆地上白垩统含油气系统中所测烃源岩层的成熟度相对较低，这就制约了其油气资源潜力。尽管在上白垩统缺氧页岩发育，但这些沉积物至今才成熟。油气生成中相对较短的时间间隔内，大量体积的烃可能无法从巨厚的上白垩统烃源岩中运移出来而形成工业价值的油气聚集。西诺曼阶至土仑阶烃源岩在古近纪只有位于深部扩张和盐丘收缩的盆地可能已达成熟。

现今上白垩统烃源岩上、下的非烃源岩页岩层可能对油气的运移起阻碍作用。

这一含油气系统持续时间大约从 95 Ma（西诺曼期）至今。

2）下白垩统含油气系统

现今下白垩统烃源岩处于 Guaratiba 组缺氧页岩中，因而下白垩统含油气系统可以解释现今已发现的石油聚集。在坎波斯盆地北部，烃源岩为 Lagoa Feia 组纽康姆（Neocomian）阶湖相页岩，然而在桑托斯盆地下白垩统中所得到的数据不多。

晚白垩世至古近纪的岩浆活动与巴西边缘的抬升相伴随，产生瞬变高热流，在古近纪相对较浅的沉积物有产生油气的可能。

下白垩统含油气系统的持续时间从大约 135 Ma（豪特里夫期）至今。

3）讨论

在下 Guarujá 组，储集层特征和油的聚集主要受高能相的分布和成岩作用的控制，与此同时，油气早期运移到构造中，这样也促进了大约 4 500 m 深度原生粒间孔隙的保存。

与沉积环境相关的沉积物碎屑成分是控制其成岩和孔隙保存的主要因素，因而使岩层可能成为储集层。Ilhabela 段土仑阶浊积砂岩在埋深 4 700 m 处孔隙度为 21%。孔隙度的保存

归功于早期成岩时颗粒周围的厚绿泥石生长边，这种绿泥石边的生长阻止了压溶作用的产生，也阻止了其他胶结物的沉淀。另一方面，Jureia 组的砂岩位于较浅处，其平均孔隙度仅为 12%，这些砂岩缺少绿泥石生长边，促进了更多活跃化合物的压实和硅质胶结，这就导致了孔隙度的降低。

碳酸盐岩台地的早期断裂是由于其上盐丘的重力滑塌和原地盐收缩，这也导致了新生烃源岩与阿尔布储集层的相互并置。

4）总结

盆地中已观测和潜在的油气分布与以下列因素相关：①下白垩统烃源岩层在原地的位置；②下白垩统烃源岩生烃的时间和效率；③盐的运动和盐熔壳的重力滑塌使区域性蒸发岩盖层破裂，致使油气充注后期的盐丘砂岩和页岩；④西诺曼阶—土仑阶下部页岩层序中烃源岩的位置；⑤在盐丘扩张和收缩的地堑中，上白垩统烃源岩的埋深大，使有机质在早第三纪期间成熟；⑥后期盐熔壳的断裂和盐的收缩，使上白垩统烃源岩和储集层相互并置；⑦后期盐丘面的重力滑塌产生的构造及岩性圈闭较早；⑧碳酸盐岩和砂岩储集层的有效盖层出现早；⑨盆地朝东向海的斜倾有利于盐熔壳的重力滑塌；⑩在晚白垩世和早第三纪期间，厚层砂岩沉积从盆地西部流入，导致了盆地的埋深大和重力不均衡，重力不均衡则形成重力滑塌，使沉积体产生断裂，有利于油气的运移。

三、油气勘探开发现状及效果

1. 勘探开发概况

桑托斯盆地是巴西油气勘探的一个重要的前沿阵地，其位置紧邻巴西工业中心。从构造和岩性上看，它类似于邻近的巴西最富产的坎波斯盆地。虽然已经完成了 80 口井的钻探，但对其构造格架和裂谷作用还没有进行深入研究。

桑托斯盆地勘探中的主要问题是缺少成熟的烃源岩，其地温梯度较低。上白垩统烃源岩还没有未成熟，只在取样点处刚刚成熟，并且其进入生烃窗口的时间大约不超过 10 Ma。目前下白垩统是下一步勘探的希望所在，但其分布尚没有很好地研究。

更为重要的是，下白垩统烃源岩被阿普第阶盐丘所封闭，油气要从烃源岩中运移到上白垩统储集层中，就需要盐的运动，从而在早期和后期盐丘地层之间形成构造和岩性对接或并置。

在中等水深（<400 m）条件下，主要目标层为下 Guarujá 组鲕粒灰岩、上土仑阶 Ilhabela 段浊积砂岩和 Jureia 组底部砂岩。储集层埋藏非常深（4～5 km），因而一个重要控制因素是原生孔隙度的保存。

其他可能目标将在水深大于 400m 的地区继续寻找，为上白垩统及第三系构造—地层圈闭的浊积砂岩。

根据目前钻井和地震勘探密度，该盆地还属于一个勘探初期的大型盆地，现已完成 19.5×10^4 km 的地震测线和 85 口探井，共发现 11 个油气田，估计可采储量为原油 6726×10^4 t、凝析油 219×10^4 t 和天然气 431.3×10^8 m^3。然而，在 2 000 m 等深线范围内，尚有大片未勘探区域。从开发角度来看，该盆地也处于早期阶段，仅有 3 个油气田正在开采，另外 2 个正处于开发阶段。该盆地从 20 世纪 90 年代初期开始生产油气，到 1993 年底已经从 Coral 和 Merluza 油气田生产原油 19.2×10^4 t、天然气 2.32×10^8 m^3。1993 年 12 月 Caravela 油气田投产，到 1994 年 8 月原油日产量为 1167.4 t，天然气日产量为 33.4×10^4 m^3。

2. 油气储量及丰度

根据1994年对桑托斯盆地所有油气或发现的统计，其最终可采储量油为491.01×10^6bbl，凝析油16×10^6bbl，气15 240×10^8ft^3。该盆地的油气丰度见表3—7—2。

表3—7—2　桑托斯盆地油气丰度（1994）

类　型	油和凝析油	天 然 气	总　量
油气丰度	1 621 bbl/km^2	4.87×10^6ft^3/km^2	2 433bbl（油当量）/km^2

四、深层油气田（藏）类型、分布及形成机制

1. 主要油气藏类型

油气藏类型主要为与盐类活动有关的构造—地层型及构造型；如：Tubarão油田的圈闭为断层拉长的北东—南西向倾斜的穹窿，其下伴随盐的运动。南北向主断层把构造分成两块，储集层的沉积相和厚度变化跨越了褶皱和断层，因而形成了构造—地层控制油气藏。

2. 深层油气田分布

桑托斯盆地有10个深层油气田或发现，主要的油气田或发现如下表3—7—3所示。

表3—7—3　桑托斯盆地深层油气综合特征

油气田	深度（m）	烃类类型	海陆位置	总可采储量（油当量）（10^6bbl）	储集层地层	储集层岩性	含油气组合
Merluza	4 679	天然气/凝析油	海上	117.33	Ilhabela段	砂岩	Ilhabela段构造
Tubarão	4 571	油/天然气/凝析油	海上	75.83	下Guarujá段	鲕灰岩	下Guarujá组地层—构造
Estrela do Mar	4 693	油/天然气	海上	43.33	下Guarujá段	鲕灰岩	下Guarujá组构造
Coral	4 862	油/天然气	海上	22.00	下Guarujá段	鲕灰岩	下Guarujá组构造
Caravela	4 706	油/天然气	海上	147.50	下Guarujá段	鲕灰岩	下Guarujá组构造
Caravela Sul	4 852	油/天然气	海上	56.33	下Guarujá段	鲕灰岩	下Guarujá组构造
1—BSS—070	5 090	天然气/凝析油	海上	46.67	下Guarujá段	灰岩	下Guarujá组构造

1）*Caravela*油气田

发现于1992年7月，位于海上大陆架。最终可采储量：原油130×10^6bbl，天然气1 050×10^8ft^3。截至1995年累计产油4 977 863 bbl，产气最少34.2×10^8ft^3。勘探方法为地震。截至1994年10月共钻3口井，其中1口油井，1口干井。截至1994年11月有1口生产井。

主要的储集层为阿尔布阶下Guarujá段鲕状灰岩（图3—7—4），分为B_1、B_2、B_3和B_4等4个单元，其中B_3为水饱和，B_2和B_4为主要的产层。主要的烃源岩为巴列姆—阿普第阶的Guaratiba组页岩，主要的盖层为阿尔布阶上Guarujá段灰质泥岩。圈闭为与下伏盐运动有关的构造，属下Guarujá组构造油气藏。

2）*Merluza*天然气和凝析油田

发现于1979年8月，是桑托斯盆地的第一个商业发现，位于海上大陆架，目前处于生产状态。最终可采储量：天然气5 000×10^8ft^3，凝析油34×10^6bbl。截至1993年累计产气

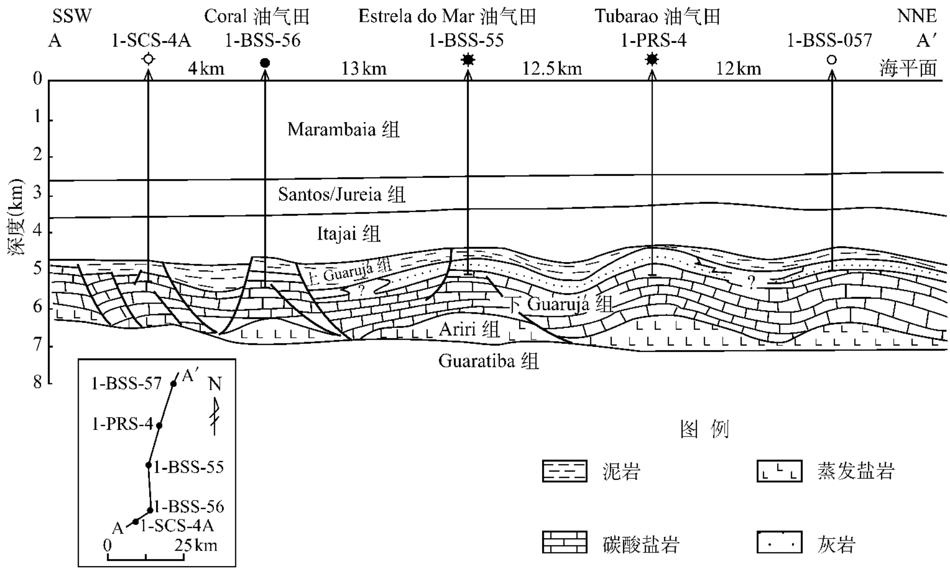


图 3—7—4　桑托斯盆地 Caravela 油气田地质横剖面

（引自 Petroconsultants，1994）

81.9×10⁹ ft³，截至 1995 年累计产凝析油 3 582 444 bbl。勘探方法为地震。截至 1994 年 9 月已钻 9 口井，全部为气井，6 口生产井。

主要的储集层为土仑阶 Itajai—Acu 组 Ilhabela 段海相浊积砂岩，深度 4 679 m。总厚度最少 25 m，孔隙度平均 22.4%，以原生晶间孔隙为主。绿泥石限制孔隙喉道，渗透率平均 $15\times10^{-3}\ \mu m^2$。主要的烃源岩为巴列姆—阿普第阶 Guaratiba 组页岩。主要的盖层为上白垩统 Ilhabela 段页岩。圈闭为盐成因的断背斜，属 Ilhabela 段构造油气藏。

五、小结

（1）桑托斯盆地是南美洲的一个大型中、新生代裂谷盆地，它是巴西油气勘探的一个重要前沿阵地，其位置紧邻巴西工业中心。从构造和岩性上看，它类似于邻近的巴西最富产的坎波斯盆地。

（2）该盆地起源于早白垩世南大西洋的裂谷期。在盆的裂陷初期伴有玄武岩喷发，它们被一组厚度有变化的河—湖相层序所覆盖。在后裂谷期的热沉降阶段，主要是中阿普第期，狭窄的海道限制了海水的流入，形成了蒸发岩层序。

（3）桑托斯盆地的主要烃源岩分布在 Guaratiba 组的前盐丘层序内，研究表明，在第三纪期间，盆地具有较低的地温梯度。计算出的生油门限深度在 3 600～4 500 m 之间。在新近纪的后期，大多数西诺曼阶烃源岩埋深接近生油门限的深度，因而在新近纪的后期西诺曼阶只生油。

（4）蒸发岩的盐类沉积是该盆地中的特色之一，圈闭的形成通常为与盐丘运动有关的构造—地层圈闭，构造与石灰岩和浊积岩的沉积同时形成。

（5）桑托斯盆地勘探中的主要问题是缺少成熟的烃源岩，其地温梯度较低。但从深层油气田的勘探开发来看，主要圈闭类型以与盐类活动有关构造为主，油气并举。

参考文献

Mello Marcio R，Nepomuceno F. **1992**. The hydrocarbon source potental of Brazil and West Africa Salt Basins；A multidisciplinary approach. In：Eynon，G. (Ed)，**88**

Millo M R，Ordonhez A R，Gallango O，*et al*. **1993**. Comparatve geochemical characterization of south American oils derived from carbonate and siliciclastic source rocks；A Paleoenvironmental and biological marker approach. In：Anonymous (Ed)，American Association of Petroleum Geologists **1993** Annual Convention，Annual Meeting Abstracts，**150**

Mohriak W U. **1993**. Contrasts and similarities in the geologic evolution of the Campos and Santos Basins，Offshore Brazil；the Cabo Frio Frontier Region. In：Anonymous (Ed)，American Association of Petroleum Geologists **1993** Annual Convention，Abstracts，**152**

Riccardi A C. **1988**. The cretaceous system of southern South America. Memoir Geological Society of America，**168**，**161**

Riva J P Jr. **1989**. Brazil，**2**；Technology boosting success in Campos Basin. Oil and Gas Journal，**87** (**48**)，**85**—**88**

Sancho J. **1988**. **1**—RJS—**199** B；First deepwater test in offshore Brazil. in：Williams，A (Ed)，Proceedings，Twentieth Annual offshore Technology Conference，(**1**)，**363**—**370**

Hubbard R J. **1987**. Geological evolution of three rifted continental margins in the americas. Stanford University，United States，Doctoral. **386**

Fernandes G J F，Lana M C，De Souza R G. **1990**. The petroleum habitat in the Albian—Aptian Section of the Brazilian coastal marginal basins (Habitat Do Oleo Na Secao Albo—Aptiana Das Bacias Marginais Costeiras Brasileiras). Proceedings of the **4**th Society of Petroleum Engineers Et Al. Latin America Petroleum Engineering Conference，**1**，**13**

Demerciam S，Szatmari P，Cobbold P R. **1993**. Style and pattern of salt diapirs due to thin skinned gravitational gliding，Campos and Santos basins，offshore Brazil. In：Cobbold，P. R. (Ed) New insights into Salt Tectonics；Collection of invited Papers Reflecting. The Recent Developments in the Field of Salt Tectonics. Tectonophysics，**228** (**34**)，**393**—**433**

De Moraes Jr J J，Cruz W M. **1990**. The Tubarão Field：A new challenge incarbonate reservoirs (Campo De Tubarão：Um Novo Desafio Em Reservatorios Carbonaticos). Proceedings of the **4**th Society of Petroleum Engineers Et Al.，Latin America Petroleum Engineering Conference，**1**，**8**

De Figueiredo A M F，Fernandes G J F，Guimaraes P M. **1991**. The petroleum habitat in the post rift sequences in the Brazilian sedimentary Basins. In：Anonymous (Ed)，American Association of Petroleum Geologists **1991** Annual Convention With Divisions，American Association of Petroleum Geologists Bulletin，**75** (**3**)，**573**

De Carvalho M D，Praca U M，De Moraes Jr J J，*et al*. **1990.** Reservatorios carbonaticos profundos do eo/mesoalbiano da bacia de Santos (Deep Carbonate Reservoirs of the Eo/Me-

so Albian of the Santos Basin). In: Anjos Couto, S. M. & Bacoccoli, G. (Eds.), Reservatorios Profundos (Deep Reservoirs), Boletim De Geociencias Da Petrobras, **4** (**4**), **429—450**

Arai M. **1987**. Palinologia do folhelho negro do cretaceo medio da Bacia Santos (Palynology of Black Shale of the Middle Cretaceous of the Santos Basin). in: Anonymous (Ed), VI Reuniao De Aleobotanicose Palinologos (VI Reunion of Paleobotanists and Palynologists, Paleobotanica Latinoamericana), **8** (**1**), **5**

Antunes R L O, Cunha A A S. **1991**. Consideracoes relativas a Definicao, Caracterizacao E Datacao Da Biozona De Nanofosseis Helicosphaera Recta Nannofossil Biozone. Boletin De Geociencias Da Petrobras, **5**, **109—114**

Abreu V, Rodrigues R, Takaki T, *et al*. **1989**. Neogine—quaternary isotopic stratigraphy of Santos Basin, Southeast Brazil. Terra Abstracts, **1** (**2**), **70**

第八节　下刚果盆地

下刚果（Lower Congo）**盆地分布在安哥拉、刚果、加蓬、扎伊尔，北部以马永巴高原为界，南部以安布里什高原为界，东部与前寒武系基底相邻，西部与大陆边缘相邻接。总面积为 16.8×10^4km^2，盆地近 90%的面积位于海上**（**图 3—8—1**）。

一、区域地质

下刚果盆地是从北部喀麦隆火山脊向南扩展到南部的纳米比亚沃尔维斯海岭的一系列西非盆地之一。这些盆地初期都经历了拉伸的裂谷大地构造运动，以及被动的热沉降过程。这些盆地均以阿普第阶盐分布为特征，主要划分为 5 个地层构造单元（**图 3—8—2**）。

1. **盆地演化**

1）**基底**

下刚果盆地的裂谷沉积地层直接覆盖在前寒武系基底之上。

2）**同生裂谷早期：晚侏罗世—早白垩世拉张阶段**（152.1—137.5 *Ma*）

下刚果盆地始于晚侏罗世—早白垩世，受南美板块与非洲板块解体时拉张应力的影响，形成北西—南东分布的内克拉通盆地。

最初盆地是陆源粗碎屑的沉积中心，包括 Vandji **组和** Lucula **组的砂岩和砾岩。**Lucula **砂岩在裂谷的东缘厚度最大，**Vandji **组砂岩为辫状河流沉积。**

3）**同生裂谷晚期：纽康姆—巴列姆晚期的拉张阶段**（137.5—124.5 *Ma*）

Lucula **组粗砂岩之上为湖相的** Bucomazi **组块状页岩，这是盐前的主要沉积。**Erva **组是深湖碎屑流沉积。**Djeno **砂岩是浊积河道中的重力碎屑流沉积。**

深湖和大量的 Bucomazi **组充填沉积标志着裂谷第二期活动的开始。**Bucomazi **组分为下、中和上 3 个段，很难从岩性上区分这 3 个段，但在测井曲线上有明显的差别。下** Bucomazi **段为氧化湖相环境中的粉砂岩和页岩沉积，厚度可达 1 000 m；中** Bucomazi **段沉积表示闭塞湖相沉积的开始，沉积了范围广泛的富含有机质的页岩地层，形成盆地的主要烃源岩；在巴列姆末期，沉积了氧化条件下的上** Bucomazi **段页岩。**

在晚巴列姆—阿普第早期发生广泛的准平原化作用，隆起部位的上—中 Bucomazi **段地层可能遭受侵蚀。**

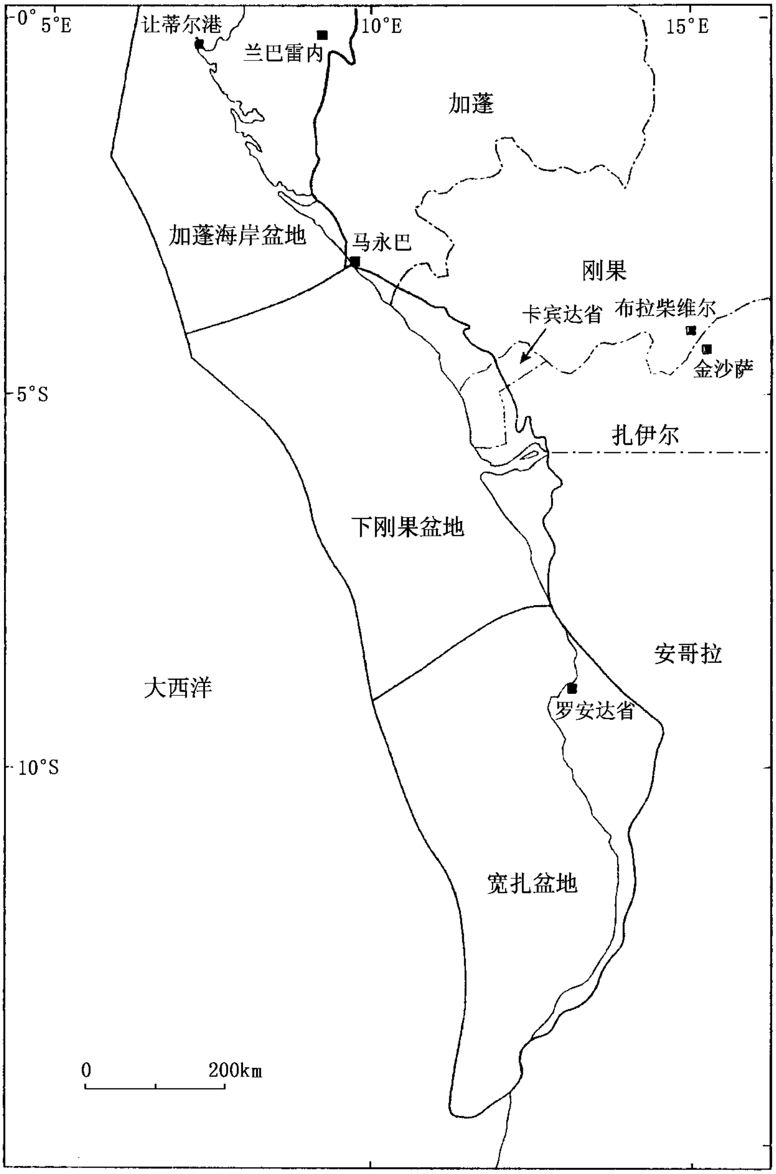


图 3—8—1　下刚果盆地位置图（**引自** Petroconsultants，**1994**）

4）**后裂谷热沉降早期：中—晚阿普第阶期**（117.5—113.1 *Ma*）

在晚巴列姆—阿普第早期的准平原化之上覆盖阿普第阶 Chela **组的海侵河流砂岩地层，顶部为□湖沉积。其上为阿普第阶** Loeme **组蒸发岩，局部厚达 1 000** m，**夹有相当厚的盐岩层，可划分出 4 个主要的盐岩沉积旋回。南大西洋加深使正常海水进入盆地，蒸发盐沉积结束，并为盐岩的下滑运动和随之产生的盐构造发育提供重力推动力。**

5）**后裂谷热沉降中期：阿尔布—中始新世**（113.1—42.1 *Ma*）

热沉降中期由海侵层序组成，底部为 Pinda **组的石灰岩和白云岩沉积，它是西非海岸碳酸盐岩陆棚的一部分；向东碳酸盐岩沉积在宽阔的被动大陆边缘台地，向陆地方向变为巨大**

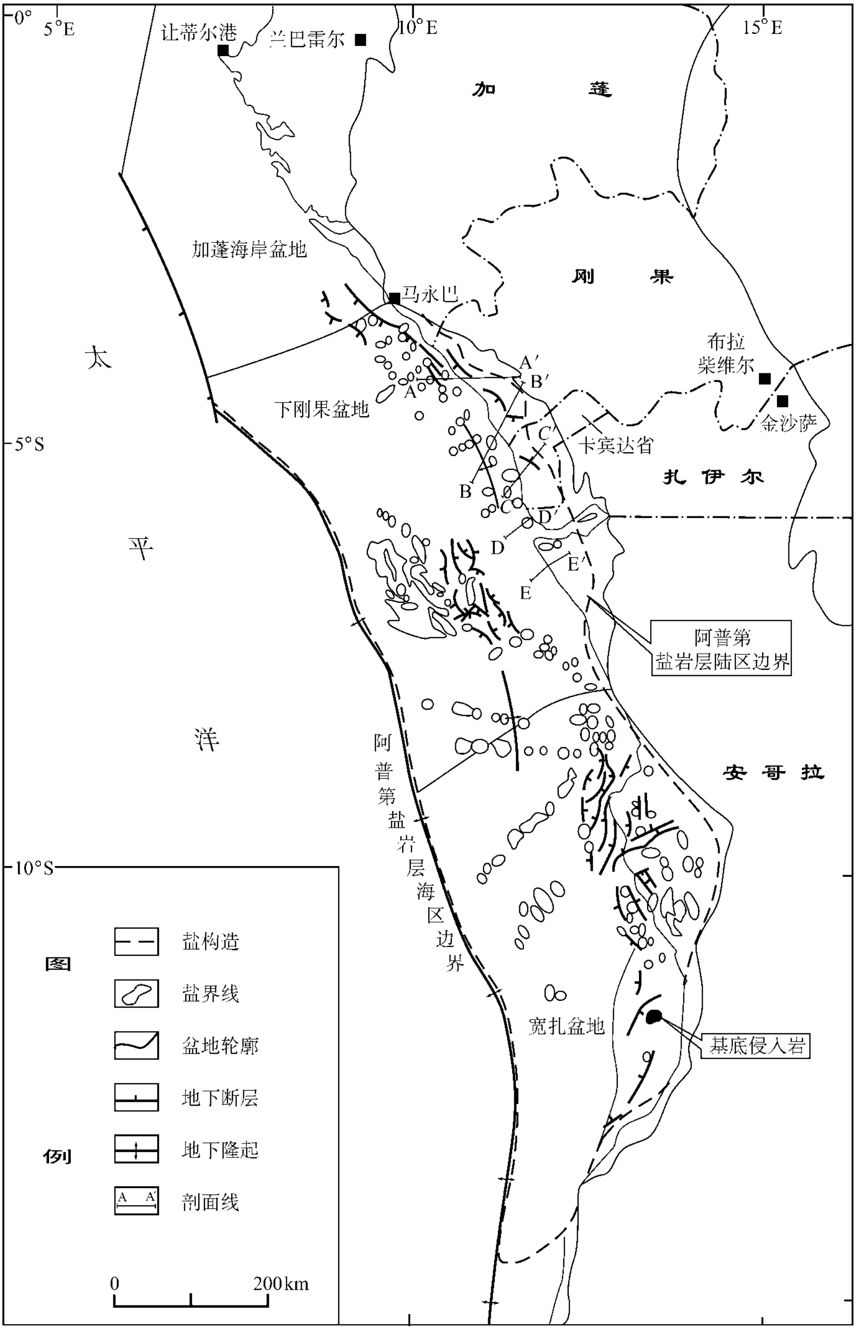


图 3—8—2　下刚果盆地构造纲要图（引自 Petroconsultants，1994）

的海岸碎屑复合体；向西则为开阔的海洋环境。在安哥拉下 Pinda 组碳酸盐岩台地比上 Pinda 组向西数十千米，这说明受海侵影响，Pinda 组岩相向东迁移。

受南大西洋被动边缘区域性下沉以及碳酸盐岩和相应的碎屑沉积地层厚度的影响，引起盐岩的下滑移动，并将阿尔布组的陆棚分割成一系列以铲状正断层为边界的构造。在这种北西—南东走向断裂的背景下，构造高点处的 Pinda 组沉积较薄，并有相变，远离高点沉积加

厚，形成石灰岩、白云岩、砂岩和页岩的互层复合体。

Pinda 组与其上海侵西诺曼阶的海相硅质碎屑岩为不整合接触。海侵层序的底部为海陆过渡相的 Vermelha 组沉积。向东为陆相红层；向西以深海粉砂和页岩为主，之间为近岸过渡环境极细—粗粒的 Likouala 组砂岩储集层。

海侵持续到土仑期，范围最大时形成 Iabe 组页岩。晚白垩世海侵之后，Iabe 组为陆棚边缘向西前积的沉积，并伴有浊流沉积。

麦斯特里希特初期海平面降低，随后的古新世—始新世的海侵形成了硅质碎屑岩的沉积。上白垩统连续的前积沉积被古新统的 Ambrizete 砂岩和深水的 Landana 页岩所取代。最大的海侵发生在古新世到始新世早期。

6）后裂谷热沉降晚期：中新世至今（23.3—0 *Ma*）

由于盆地西倾，渐新世海水退出本区，造成大范围的侵蚀，形成侵蚀河道和峡谷。其中充填中新统海相河道砂和浊积沉积，以及 Malembo 组的泥灰质页岩。中新统沉积在现今刚果河口处的厚度达 3 000 m，表明新第三纪下刚果盆地向西进积，并形成现今的陆棚边缘。

下刚果盆地裂谷自晚侏罗世—早白垩世开始，受北西西—南东东拉张应力的作用，形成走向北东 10°～20°的中—高角度拉张正断层，与高角度转换断层呈直角相交。基底断层发生重新活动，一些盐下的箕状地堑发生部分反转并延续到盐上（图 3—8—3、图 3—8—4）。沿裂谷拉张正断层发生倾向滑动，沿转换断层发生水平错断。主要的构造有掀斜断块、地堑、箕状地堑、披覆挠曲和转换断层。自阿普第早期，盆地进入热沉降阶段。受海底扩张和洋壳冷却作用，南大西洋加深加宽，使得沉积地层向西倾斜，引起滑动面破裂，受上倾方向沉积物的负载，引发大量的盐变形活动，形成盐枕、盐龟背斜和盐底辟构造。更重要的是，盐上沉积物随盐向下大规模的漂浮移动破坏了原有沉积的连续性。盐层的漂浮重力下滑运动由北向南增强。

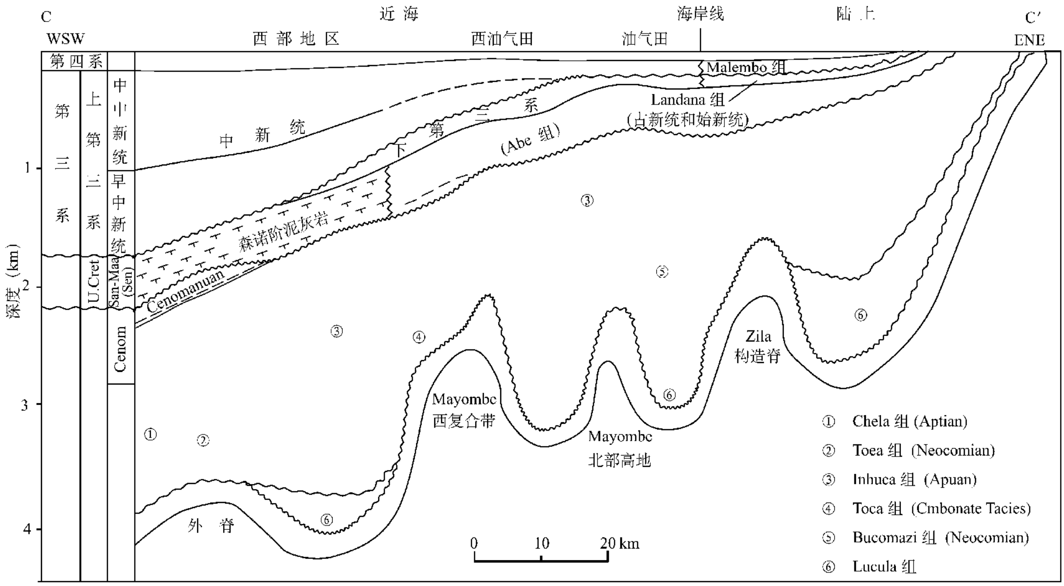


图 3—8—3　下刚果盆地区域横剖面图（C—C′）

（剖面位置见图 3—8—2）

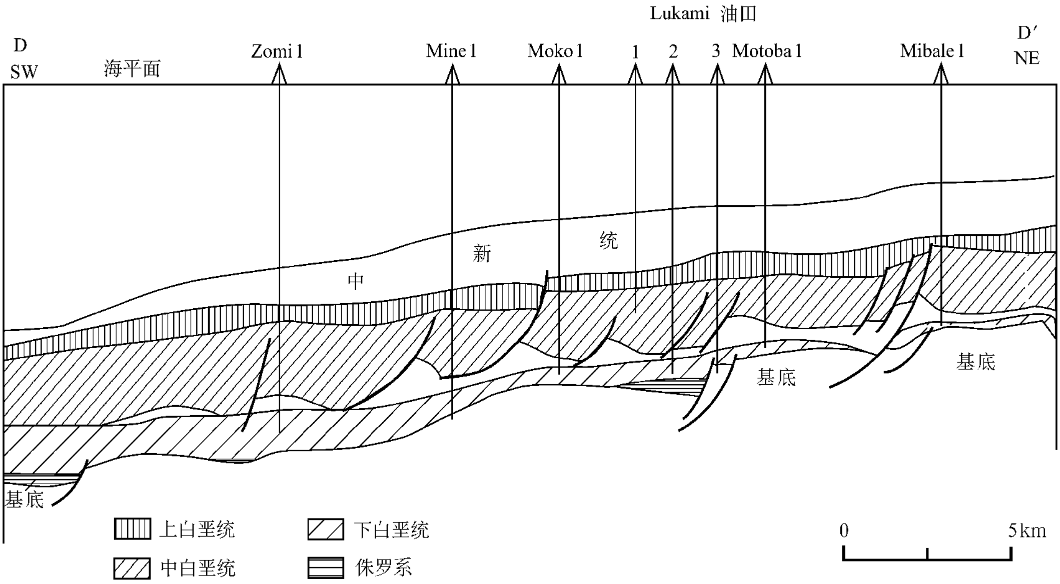


图 3－8－4　下刚果盆地区域横剖面图（D—D′）
（**剖面位置见图 3－8－2**）

2. **地层简介**

下刚果盆地的地层层序可分为：

（1）**裂谷前的陆相盐前地层单元，由纽康姆—巴列姆阶的河湖相组成，在一系列深陷的南北地堑中沉积厚度达 4 000 m。沉积模式表明南北向深地堑的中心位于现今的海岸。在** Djeno、Pointe Noire **和** Pointe Indienne **期最大沉降深度由南向北发生迁移。因此，该地层与下伏的断块相比具有明显的厚度和岩相变化。到** Chela **期，沉积地堑的这种移动停止，形成的海蚀面成为海洋沉积的基底。受大陆边缘整体挠曲影响，该表面规则倾斜。盐前地层的沉积速率为 100～400** m/Ma。**盐前沉积分布在 2 个大地构造期，第 1 个是纽康姆期，以第一裂谷期为标志。以一系列北西—南东向断层将该地区分割成分离的构造地层单元。**

（2）**第 2 个地层单元是南大西洋裂谷张开后的阿普第期沉积，沉积了广泛分布的含盐地层。**

（3）**然后发育一套从阿尔布期到中新世的海相盐后地层单元，该地层与海洋的形成和边缘挠曲有关。**

下刚果盆地发育有白垩系和第三系（表 3－8－1）。

1）**中生界**

（1）Lucula **群：包括** Lucula **组粗粒砂岩和** Vandji **组辫状河流砂岩；厚 0～1 250** m。

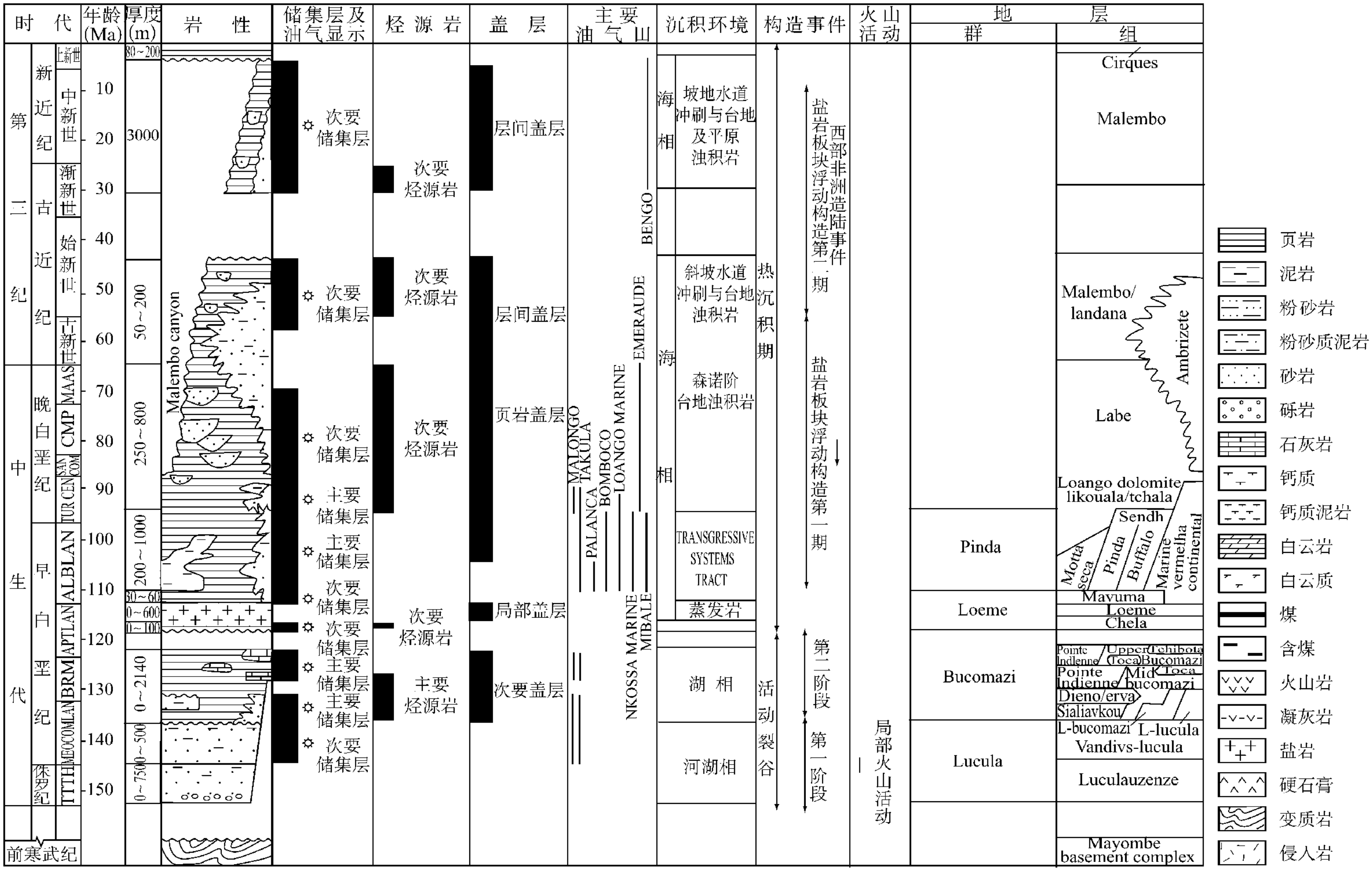
（2）Bucomazi **群：下部为粉砂岩和页岩；中部为湖相富含有机质页岩，形成盆地的主要的烃源岩；上部为页岩；厚 0～2 140** m。

（3）Loeme **群：包括** Chela **组海侵河流砂岩，顶部为□湖和** Loeme **组蒸发岩，夹巨厚盐岩层；厚 30～760** m。

（4）Pinda **群：海侵石灰岩和白云岩；厚 200～1 000** m。

（5）**上白垩统** Iabe **组：页岩、前积砂岩，伴有浊积岩；厚 250～800** m。

表 3－8－1　下刚果盆地综合地层（Petroconsultants，1994）



2）第三系

（1）下第三系 Malembo/Landana 组：砂岩和深水页岩；厚 50～200 m。

（2）上第三系中新统 Malembo 组：海相和浊积砂岩，以及泥灰质页岩；厚 3 000 m。

二、含油气性

1. 烃源岩

已知盐前的烃源岩来自 Bucomazi 组中部和下部层段及 Chela 组页岩。Chela 页岩含Ⅲ型和Ⅳ型生气的有机质，但它不可能是盐前烃类重要的烃源岩。在加蓬南部，纽康姆阶 Kissenda 组具有某些烃源岩特征，总有机质（*TOC*）平均含量为 1.5%～2%（按质量计），主要由Ⅳ和Ⅱ—Ⅲ中间型干酪根组成，因此认为它属于生气母质而不是生油母质。相反，像加蓬的 Melania 组和刚果的 Pointe Noire 组中 Bucomazi 页岩是极富的生油源岩，据说其烃源岩潜力指数为 46t/km^2，它是世界上已知烃源岩层段中最丰富的层段之一，总有机质含量可超过 20%，以Ⅰ型和Ⅰ—Ⅱ中间型干酪根为主。

生油窗深度变化取决于相对裂谷盆地沉降轴部的位置。在刚果，较高的地热梯度是 Tehibota 或晚 Bucomazi 期末盐前裂谷盆地沉降中心的特征。因此，沿盆地东翼和西翼的生油窗出现在此盆地的较深部位。尽管它的埋深与盆地中部 2 000～3 000 m 埋深相差不大，在盆地的东缘和西缘，盐前烃源岩仍然未成熟。沿裂谷盆地沉降轴部的高热流加快厚层 Bucomazi 烃源岩的成熟，形成现有的刚果油气田。

沉降盆地轴部和翼部的地热差别在 Chela 组沉积和坳陷沉降开始以前就已消失。

在盐后沉积剖面中，推测的潜在烃源岩为上白垩统 Iabe 组、始新统 Landana 组一部分和渐新统 Malembo 组一部分。在下刚果盆地没有得到这些潜在盐后烃源岩的 *TOC* 值、有机质类型和厚度的资料。区域分布广的烃源岩的候选层位最有可能是在土仑阶 Iabe 组层段内。因为在邻近的加蓬海岸盆地已知该层段是形成烃源岩的主要层段。所有潜在盐后烃源岩的普遍问题是成熟度，因为埋藏史曲线和地热分析表明对生油来说是不成熟的，这一点上它们是相互支持的。

2. 储集层

盐下碎屑岩储集层所含油气比盐下碳酸盐岩储集层多。盐下砂岩储集层的物源为结晶和变质岩基底，经短距离搬运后沉积，因此物性极易受埋藏成岩作用的影响。这些储集层包括：Vandji 砂岩、Lucula 砂岩、Erva 组、Djeno 组、Lucina 砂岩、Melania 组、Dentale 组、Gamba 砂岩和 Chela 砂岩。在这些盐下碎屑岩储集层中，Lucula 砂岩所含油气最高。在 Cabinda、Lucula 地区以北分为下 S—Lucula 和上 L—Lucula 单元。S 单元是冲积扇形成的结构和矿物成熟度均不高的长石—亚长石砂岩。其上的 L 单元则是纯净的、分选好的石英砂岩，可能是 L 单元重新在高能量环境如湖相三角洲、滨岸沙坝等的沉积。

除 Lucula 砂岩外，其他盐下碎屑岩储集层的重要性不如盐下湖相的 Toca 碳酸盐岩储集层。

阿尔布阶的碳酸盐岩以及阿尔布阶和西诺曼阶的硅质碎屑岩是主要的盐上储集层。下 Pinda 段碳酸盐岩在安哥拉北部区块 3 为一个重要的储集层。储集层物性主要取决于白云岩化作用、淋滤、石膏堵塞和裂缝的情况。上 Pinda 段碳酸盐岩陆棚边缘向东迁移，在安哥拉北部，石膏堵塞使上 Pinda 段淋滤、裂缝的白云岩和含白云质砂岩储集层的物性变差。

在 Cabinda 地区，Pinda 砂岩和白云质砂岩是最好的储集层，沉积于滨岸沙坝、浅滩和充填河道，砂岩平均孔隙度和渗透率分别为 22%和 150×10^{-3} μm^2。当溶解作用和白云岩化

作用提高 Pinda 碳酸盐岩的孔隙度和渗透率时，它也能作为良好的储集层。

西诺曼阶的 Vermelha 组是 Cabinda 地区最重要的盐上储集层。它沉积于海岸环境，固结中等至差，极细至粗粒长石石英砂岩，平均孔隙度和渗透率分别为 25%和 1μm^2。

上白垩统的其他沉积主要为 Iabe 组的海相页岩。区域分布的白云岩、含砂白云质灰岩和砂岩也可作为储集层。

第三系的浊积岩虽然可以作为储集层，但所含油气较少，不是重要的储集层。

3. 盖层

该盆地的主要盖层是 Loeme 组的盐岩。这个区域盖层基本切断了盐前和盐后烃类运移通路。Bucomazi 页岩及其在扎伊尔和刚果的同期地层是另一盐前盖层。

盐后盖层有上阿尔布阶页岩，不过更重要的是上覆下西诺曼阶页岩。土仑和森诺阶 Iabe 组中的厚层海相页岩像第三系 Malembo 页岩盖层一样是重要的区域盖层。Iabe 和 Malembo 组盖层多半是封堵浊积岩复合体（包括补给水道）的深水页岩。

4. 油气生成与运移

由下刚果盆地成熟史可知，盐前沉积生成的油气沿断层上升至上覆的盐后沉积之中，其埋深大约在 1 000 m。通过混合盐窗，可知未封闭断层运移方向是由下白垩统到达上白垩统和第三系储集层，在第三纪没有运移的证据。通过研究盐类的运动，可以了解运移方向和轨迹。这是因为：①盐类运动提供了烃类运移的通道；②它改善了储集层质量；③有助于释放盐获得烃类。

5. 含油气组合

1）含油气组合类型

下刚果盆地有下白垩统、上白垩统和第三系构造—地层含油气组合，可分为盐前含油气组合和盐后含油气组合。盐前含油气组合的储集层是非海相的下白垩统 Toca 组碳酸盐岩和 Lucula 砂岩，烃源岩为湖相 Brucomzi 组有机页岩，掀斜断块上的阿普第阶盐岩作为盖层组成。盐后含油气组合的储集层是海相的碎屑岩和碳酸盐岩，包括阿尔布阶碳酸盐岩以及上白垩统和第三系砂岩储集层。

下刚果盆地存在 2 种不同的构造型式：

（1）掀斜断块（主要为盐前构造）：地堑和半地堑；披盖挠曲；转换断层。

（2）盐岩引起的构造（主要是盐后构造）：盐堆积物；盐丘和相关的盐构造（如盐背斜和龟背构造。）

2）含油气组合分布

盐前含油气组合共有 46 个油气田或发现，储量 1 456×10^6 bbl（油当量），占总储量的 12%；其中，碎屑岩储集层的储量为 968×10^6 bbl（油当量），碳酸盐岩储集层的储量为 488×10^6 bbl（油当量）。盐后含油气组合共有 175 个油气田或发现，储量达 10 296×10^6 bbl（油当量）；其中碎屑岩储集层的储量占 57%。

3）影响油气有效圈闭的因素

（1）油气生成：下刚果盆地油气主要生于白垩系 Bucomazi 组，这个组是盆地主要烃源岩，自从其形成之后就缓慢形成油气，但主要是在沿盆地轴部的高热流使该组完全成熟之后开始大量生成，这个时期在第三纪。

（2）圈闭形成：盆地主要形成 2 种类型的圈闭：一种是断层圈闭，一种是盐体刺穿圈闭，它们主要形成于 2 个时期，即侏罗纪—早白垩世的阿普第期和阿普第早期之后。

（3）最早封闭：盆地主要封闭是 Loeme 组的盐类封闭，其阻隔了盐前沉积向盐后沉积中烃类的运移。另外，Bucomazi 泥岩也有封闭作用，而在盐后沉积则主要产生于阿尔布期的泥岩。所以油气保存时间主要在第三系 Bucomia 组油气大量生成之后到主要封闭之前。

6. 含油气系统

该盆地现已证实的含油气系统仅有 1 套，它包括下白垩统巴列姆组湖相烃源岩，生成的油气运移到盐前非海相碎屑岩和碳酸盐岩储集层，上覆的阿普第阶 Loeme 组岩盐作为盖层；或运移到盐后海相碎屑岩或碳酸盐岩储集层中，以上白垩统或第三系页岩为盖层。该含油气系统的地层年代自 128.6 Ma 到现今。

该盆地有可能存在第 2 套含油气系统，即以上白垩统或第三系海相页岩向上白垩统和第三系一些储集层（特别是浊积岩储集层）提供烃类来源，其盖层为上白垩统和第三系海相页岩。这种可能性在刚果河口两侧和前缘存在。在那些地方由于大量的第三系沉积（特别是中新统沉积）而使可能的盐后烃源岩埋藏得很深，足以使烃类成熟。即使如此，迄今的地球化学资料表明大部分下刚果盆地的储量都是由巴列姆组湖相页岩提供的。

三、油气勘探开发现状与效果

1. 勘探开发概况

该盆地的勘探开发史可追溯到 20 世纪 50 年代。当进行第 1 次地震勘探时，盆地的勘探活动即已开始，1957 年在 Congolese 地区钻第 1 口新油田预探井。此后，大约采集了 44.55×10^4 km 地震剖面，钻了 615 口预探井。在 4 个近海地区和陆上扎伊尔地区已采集了二维和三维地震数据。1957 年在刚果陆上获得第 1 个发现（Pointe Indienne）。1966 年在安哥拉地区获得 2 个陆上与海上发现。

该盆地总计 214 个发现，其中 31 个是在陆上找到的，仅占该盆地总储量的 3.5%。安哥拉地区是最活跃的勘探区域，钻了 356 口井，发现油气 974.1×10^4 t（油当量）。137×10^4 t（油当量）或低于此储量的发现占总发现的 56.5%，占 1986—1995 年间发现的 62.2%。它们仅提供该盆地可采储量的 4.2%。该盆地总计钻井成功率为 34.8%（油为 31.5%，气为 3.3%）。

该盆地至少已钻了 1162 口开发井，其中 871 口为油井，5 口为气井，53 口为干井，75 口为注入井，1 口为辅助井，157 口井结果不清楚。

2. 储量特征及油气丰度

根据 1996 年 10 月对下刚果盆地所有油气田和发现的统计，其最终油气可采储量为：油 $10\ 179.611\times10^6$ bbl，凝析油 38.815×10^6 bbl，天然气 $92\ 239.01\times10^8$ ft^3，其含油丰度见表 3－8－2。

表 3－8－2　下刚果盆地油气丰度（1996）

类　　型	油和凝析油	天 然 气	总　　量
油气丰度	60 640bbl/km^2	54.7×10^6 ft^3/km^2	69 763bbl（油当量）/km^2

四、深层油气田（藏）类型、分布及形成机制

1. 主要油气藏类型

该盆地主要油气藏类型为构造—地层型，主要为两种：①掀斜断块；②与盐类运动有关的构造—地层型圈闭。

2. **深成油气田分布规律**

主要分布于该盆地海上区域（图3—8—2），主要受构造与地层分布的控制。

下刚果盆地有5个深层油气或发现，按成藏组合排列于表3—8—3。

3. **深成油气田形成机制**

1）Percebes West 1 油气发现

发现于1991年8月，水深37 m。该发现可能不具备商业价值，勘探方法为地震。截至1991年11月仅钻了1口井。主要储集层为阿尔布阶 Pinda 组白云质灰岩，深度4 000 m。圈闭为生物礁建造。

表3—8—3　下刚果盆地深层油气田/发现综合特征

油气田发现名称	深度（m）	烃类类型	海陆位置	总可采储量（油当量）（10^6bbl）	储集层地层	储集层岩性	成藏组合
Percebes West 1	4 000	油/气	海上	0.417	Pinda 组	含白云石灰岩	盐后碳酸盐岩地层
Safueiro	3 730	油	海上	7.0	下 Pinda 组	含白云石灰岩	盐后碳酸盐岩地层—构造
Kokongo	4 000	油	海上	200.0	Pinda 组	砂岩	盐后碳酸盐岩地层—构造
Lukami	3 824	油	海上	10.0	Lucula 组	砂岩	Lucula 组地层—不整合
Poalvou Marine 1	3 520	气/凝析油	海上	16.667	Djeno 砂岩	粉砂质砂岩	盐下碎屑岩地层—构造

2）Safueiro 油田

发现于1985年，水深41 m。最终开采储量为7×10^6bbl油，到1995年累计产油量达2 873 465 bbl。勘探方法为地震。截至1992年4月已钻2口井，其中1口为油井，1口为油气显示井。截至1994年1月有1口生产井。主要的储集层为阿尔布阶下 Pinda 组的陆相□湖与浅海相环境下的白云质灰岩（表3—8—3），深度3730 m。油藏总厚度492 m，净厚度240 m。

在发现井 Safueiro 1 井（1986年1月12日完钻）以西4 km 钻的 Safueiro West 1 井（1986年8月钻至4750 m）为干井。

3）Kokongo 油田

发现于1989年8月，水深104 m，是安哥拉海上第一个投入开发的深水油田。1990年的石油地质资源量为10×10^8bbl，1995年最终开采储量2×10^8bbl，截至1995年累计产油10 521 855bbl。勘探方法为地震。截至1995年10月已钻15口井，其中13口油井，2口未知。截至1994年11月有1口生产井。

主要的储集层为阿尔布阶 Pinda 组和 Moita Seca 组砂岩和细粒—中粒亚长石砂岩。浅海陆棚环境。储集层深度4 000 m。主要的烃源岩为纽康姆—巴列姆阶 Bucomazi 组页岩，由棕色—黑色湖相还原环境下含云母页岩、钙质页岩和泥灰岩组成，平均有机碳含量6%，I型干酪根，含超盐湖藻类/非晶有机物。次要烃源岩干酪根为Ⅱ型，湖相，平均有机碳含量2%，含镜质体/非晶质。成熟期为中—晚中新世，运移期为中中新世到现今。主要的盖层为阿尔布阶 Moita Seca 组的泥灰岩和蒸发岩。

圈闭是在构造翼部由于盐溶和下沉作用形成的北北西—南南东走向的挤压背斜。构造被一个南北走向的背斜油田分为东块和西块。这些以断层为边界的构造由掀斜断块组成，在下

伏的盐滑脱面上通过重力滑动作用与相邻构造分离。

安哥拉海上 Pinda 组主要沉积在 2 种环境中，一是内碳酸盐岩带和外碳酸盐岩/碎屑岩带。Kokongo 油田位于外带，其南端和北端以近滨砂岩为主，是在海平面上下沉积的叠置砂体。储集层的产状受海平面上下波动、沉积速率、区域沉降、盐流动和生长断层的影响。

4）Lukami 油田

发现于 1984 年 1 月，自 1984 年 2 月 24 日投产，水深 13 m，最终可采储量为 10×10^6 bbl 油。到 1995 年累计产油 9 099 632 bbl。该油田的勘探方法为地震。截至 1994 年 1 月已钻 7 口井，其中 5 口油井，1 口干井，1 口油显示井。截至 1992 年 12 月，有 4 口生产井。

主要的储集层为纽康姆期陆相环境下沉积的 Lucula 组砂岩，深度 3 824 m，油藏测试层净厚度 6.1 m。主要的烃源岩为纽康姆—巴列姆期阶 Bucomazi 组泥岩，干酪根以 I 型为主，最高温度为 444℃。自中新世进入成熟至现今。主要的盖层为纽康姆的 Bucomazi 组泥岩。

全部主要的构造都位于扎伊尔海上，其形成与盐的流动有关。由于改进的地震技术改善了盐下地层的解释，从而发现了扎伊尔第 1 个盐下具有开采价值的油藏。

阿尔布—西诺曼阶的碎屑岩和碳酸盐岩沉积物受盐层流动形成的一系列铲状断层和基底断块重新活动的影响。这些导致地层张裂的运动在盆地平台形成龟背状逆牵引构造。盐层的流动还在浅层形成枕状构造，而在盆地中心斜坡转折点及以外地区有盐刺穿。在一系列与基底伴生的地堑和半地堑中，盐前地层和构造以张性正断层和走向平推断层为特征。形成的主要构造有同沉积未倾斜的和相对的倾斜阶梯断块，在构造之上形成披覆背斜。

5）Poalvou Marine 1 发现

发现于 1980 年 10 月，水深 110 m。该发现可能不具备商业开发价值。勘探方法为地震。在 Djeno 砂岩组钻遇天然气和凝析油，在 Chela 组 2 623～2 639 m 钻遇油显示。

主要的储集层为纽康姆阶 Djeno 砂岩组的粉砂质砂岩，储集层深度 3520 m。主要的烃源岩为纽康姆阶 Pointe Noire 组页岩。运移期发生在晚白垩世—第三纪。主要的盖层为纽康姆阶 Pointe Noire 组页岩。

圈闭由与构造相关的断块组成，具有某些地层圈闭成分。在巴列姆末期的大地构造期，与连续早期裂谷活动相对应，砂层与页岩交互层被错断、旋转和削截成各种裂谷及构造圈闭。

五、小结

（1）裂谷自晚侏罗世—早白垩世开始，受北西西—南东东拉张应力的作用，形成走向北东 10°～20°中至高角度的拉张正断层，与高角度转换断层呈直角相交。基底断层发生重新活动，一些盐下的箕状地堑发生部分反转并延续到盐上。沿裂谷拉张正断层发生倾向滑动，沿转换断层发生水平错断。主要的构造有掀斜断块、地堑、箕状地堑、披覆挠曲和转换断层。自阿普第早期，盆地进入热沉降期。受海底扩张和洋壳冷却作用，南大西洋加深加宽，使得沉积地层向西倾斜，引起滑动面破裂，受上倾方向沉积物的负载，引发大量的盐变形活动，形成盐枕、盐龟背斜和盐底辟构造。更重要的是盐上沉积物随盐向下的大规模漂浮移动破坏了原有沉积的连续性。盐层的漂浮重力下滑运动由北向南增强。

（2）下刚果盆地主要的烃源岩是盐前巴列姆组湖相有机页岩。

（3）在盐前地层中，主要的储集层包括 Toca 碳酸盐岩和 Lucula/Vandji 砂岩，次要储集层为 Chela 组的底部砂岩。盐后的主要储集层包括 Vermelha 组、Iabe 组和 Malembo 组砂岩，较次要储集层为阿尔布阶的碳酸盐岩。

（4）主要的构造型式有盐前的掀斜断块和盐后由盐岩运动引起的盐构造。

（5）下刚果盆地仅有1套含油气系统，下白垩统湖相烃源岩生成的油气运移至盐前和盐上第1套海相砂岩或碳酸盐岩储集层，上白垩统或第三系页岩为盖层。

（6）下刚果盆地最终油气可采储量为：油 10 179.611×10^6 bbl，凝析油 38.815×10^6 bbl，天然气 92 239.01×10^8 ft^3。

（7）下刚果盆地共有5个深层油气田或发现。

参考文献

Akanni F. **1998**. Structural styles in deep offshore west Africa：Pt **2**，Offshore Int，Vol. **58**，No. **4**，**88－91**

Akinosho T. **1993**. Five west Africa basins among continents most productive. offshore，Vol. **53**，No. **2**，**23－25**

Belmonte Y P，*et al*. **1965**. The salt basins of the Gabon and the Congo，A tentative paleogeographic interpretation. Salt Basins Around Africa，**55－57**

Brink A H. **1974**. Petroleum geology of Gabon Basin. AAPG Bull，Vol. **58**，No. **2**，**216－235**

Reyre D. **1984**. Petroleum characteristics and geological evolution of a passive Margin. Examples of the Lower Congo－Gabon Basin. Bull Centres Rech Explor－Prod Elf－Aquitaine，Vol. **8**，No. **2**，**303－332**

第九节　西南非洲海岸盆地

西南非洲海岸（SW African Coastal）盆地位于纳米比亚盆地和厄加勒斯盆地之间，纳米比亚沿海海上和南非海角地区西部。南部边界为 Agulhas 断裂带，北部以向海延伸的 Walvis 脊为界，东界为基底上超，西阶在2 000 m水深线以外10～100 km。西南非洲海岸盆地总面积38×10^4 km^2，其中在南非的面积为13.5×10^4 km^2，在纳米比亚的面积为24.5×10^4 km^2（图3－9－1）。

西南非洲海岸盆地由北至南可分辨出3个沉积中心，即 Walvis 坳陷、Luderitz 坳陷和 Orange 坳陷。其中 Orange 坳陷的面积最大，长1 000 km，宽200～500 km，沉积物厚度超过12 000 m。3个坳陷之间以 Walvis（WTZ）和 Luderitz 转换断层带（LTZ）的隆起为界（图3－9－2）。

每个坳陷都具有与海岸平行的相似构造格局，由东向西依次为边缘裂谷带、中间枢纽线、中央裂谷带和外边缘脊。

一、区域地质

1. 盆地演化

1）基底形成期

西南非洲海岸盆地东部的地震测线显示在同生裂谷沉积之下为一中等连续的低振幅反射，其特征为火山岩和陆棚沉积，属 Ecca 群。东部被凡兰吟阶反射轴削截，西部被下阿普第阶反射轴削截。

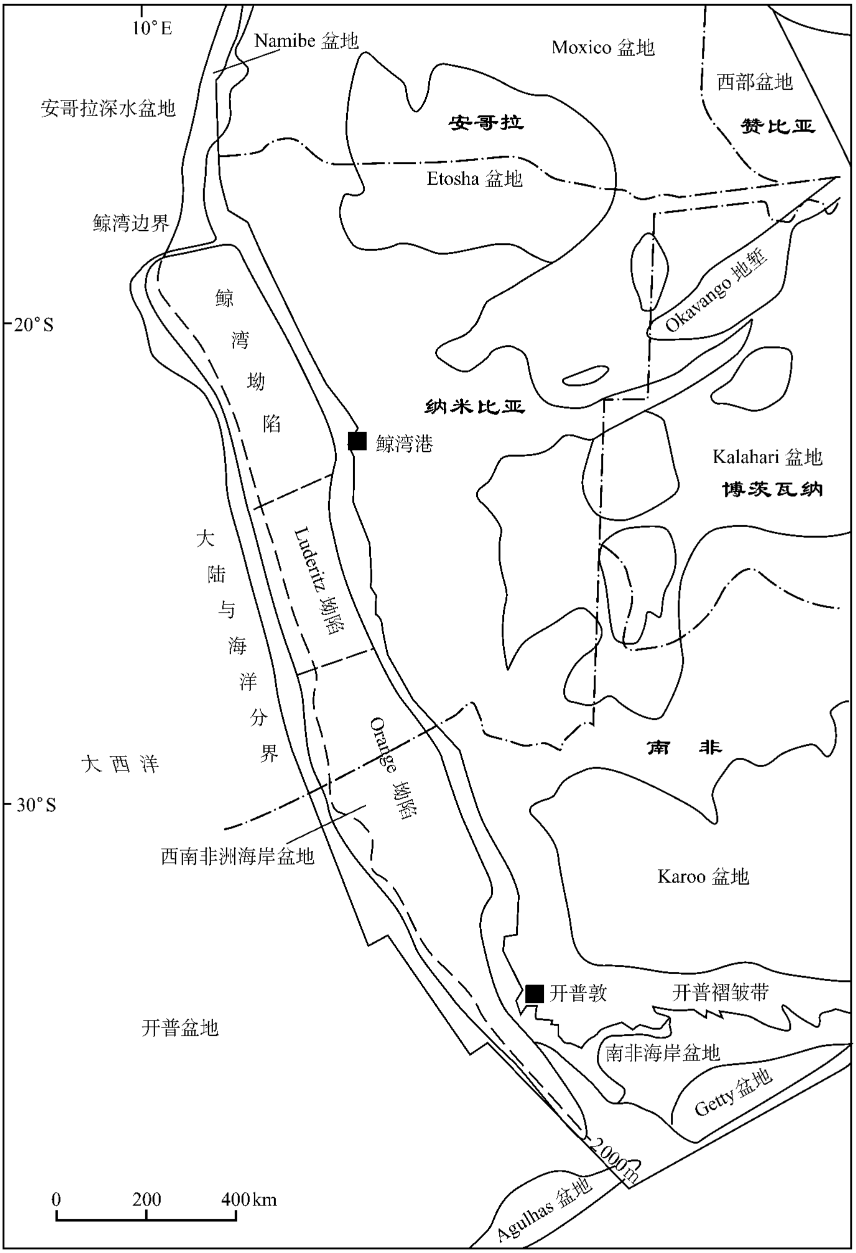


图 3－9－1　西南非洲海岸盆地位置图（引自 Petroconsultants，1994）

2）**同生：裂谷期裂谷阶段** Ⅰ （155？—117.5 *Ma*）

早—中侏罗世裂谷活动开始，冈瓦纳大陆解体，南大西洋开始形成。裂谷沿古生界基底的破裂面发育。Orange 坳陷裂谷发育于牛津—启莫里期，或更早到巴通期，在凡兰吟期发生重要的裂谷活动和充填沉积，形成向西加厚的楔状沉积层序，东部在中间枢纽线尖灭。枢纽线以东为狭窄的低角度箕状地堑，充填冲积和河流相沉积。枢纽线以西，有一混杂发射层，可能是裙带状冲积扇夹火山岩。

南部非洲大陆架在晚侏罗世经历了东西向的拉张，平行大陆边缘发育同沉积正断层。发

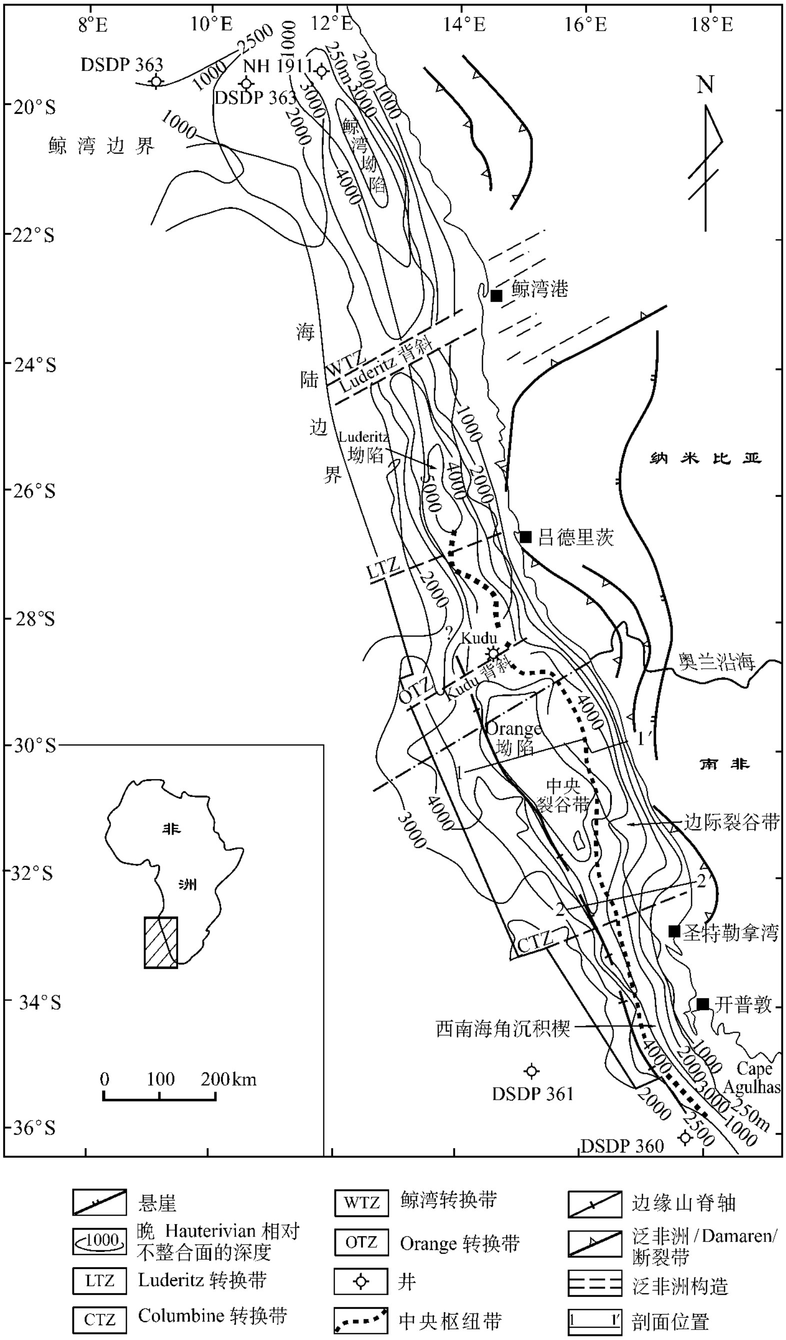


图 3－9－2　西南非洲海岸盆地构造纲要图（**引自** Petroconsultants，**1994**）

育有 2 个重要的裂谷带，即盆地内侧边界的箕状地堑边缘裂谷带和巨大的中央裂谷带复合体。两裂谷带之间为中间枢纽线。裂谷活动期间，该带经历了弯曲上隆，形成较小的不整合和上超。中央裂谷带的西侧为边缘脊，在侏罗纪和早白垩世期间经历了正断块抬升。

内侧箕状地堑的边界正断层向西倾斜，这些断层改造了深层早期泛非逆掩构造，它们的

位置和水平断距可能反映了基底的断距和弯曲度。

受同生裂谷和前裂谷期转换带的作用，在北部的坳陷中，中央裂谷带的主要断层向东倾斜，而 Orange 坳陷北部的主要断层多向西倾斜。在 Orange 坳陷的南部，出现东倾和西倾的断层。

3）同生裂谷阶段Ⅱ：早白垩世（117.5—112 *Ma*）

第 2 次裂谷活动开始于早白垩世的晚阿普第期之前。裂谷和地块旋转活动形成一角度不整合。沿纳米比亚的 Great Escaupment 和南非的 Cape 省北部有 1 500 m 的隆起。

晚豪特里夫期在 Orange 坳陷发育有数个不整合。随大西洋裂谷由印度洋经南非海上、向北沿西南非洲和纳米比亚海岸推进，沿 Walvis 脊和纳米比亚的 Kaokoveld 地区有大量的火山岩喷发和侵入。主要的火山活动发生在 120 Ma 前。广泛的火山活动表明存在一局部的白垩纪热点，它使裂谷偏斜从而确定大西洋的位置。

这一时期的沉积物为风成和干谷砂岩与火山岩互层。在中央枢纽线以西大多数沉积物为中等能量的河流砂岩和页岩，偶见边缘冲积扇发育。远端为较低能量的辫状河流平原砂岩和湖泊相粉砂岩和页岩。Orange 坳陷的南部为向西连续沉积的浅海到海岸砂岩。在 Luderitz 的北部外边缘脊为巨厚的熔岩流。Walvis 坳陷为前积三角洲快速沉积的页岩、粉砂和砂岩地层。第 2 裂谷期与上覆地层之间为角度不整合接触。

过渡沉积层序始于晚豪特里夫期大陆漂移，结束于早阿普第期的不整合，为富砂的浅海沉积，其上为阿普第阶缺氧环境下富含有机质的泥岩。在中央枢纽线以西的下部地层为陆相沉积，包括玄武岩和风成至河流砂岩（干旱的海岸平原）；高碳酸盐胶结的浅海砂岩；贝壳砂岩及局部□湖页岩、深海粉砂岩；到顶部的腐泥质页岩。该地层向西变为海侵砂岩与页岩的互层（连续的高低振幅地震反射）。但在 Luderitz 坳陷和 Walvis 坳陷，该地层可能完全是陆相沉积（不连续杂乱反射），向西变为浅海相。

Orange 坳陷中央枢纽线以东，钻井资料揭示该地层以河流沉积为主。Walvis 坳陷以东的地堑和箕状地堑可能具有相似的沉积。

4）热沉降阶段 *I*：阿普第—西诺曼期（112—93 *Ma*）

中白垩世大陆解体，漂移开始，盆地的主要发育过程是热沉降。新生代南非大陆边缘明显抬升，基底发生侵蚀和强烈的切割，侵蚀厚度达 2 000 m。部分侵蚀物质沉积在 Orange 河口—三角洲。晚白垩世和第三纪时发育了大型的坍塌岩床。

漂移开始后，盆地进入热沉降阶段，沉积受海平面升降影响。阿普第—西诺曼期，该地层的顶部为海进深海页岩，代表了土仑期的高海平面。在 Walvis 脊的东端有巨大的火山喷发。Walvis 脊以南各盆地的沉积不一致，地层可明显地划分为陆棚、斜坡和深海海盆等不同的环境。

Walvis 脊仍为一隆起，成为阻碍海水由南进入盆地的屏障，其中段为晚白垩世玄武岩。

在陆棚区，地震反射为平行反射，可见海岸上超，可能是高能量的滨线环境到浅海内陆棚砂岩，含薄层页岩夹层，偶见薄层石灰岩。

在 Orange 河口外海上陆棚区，可能沉积了 Orange 河流—三角洲平原最早的粉砂岩、页岩、河道砂岩和薄煤层以及浊积岩。

陆棚外缘为低角度的进积，偶见断层；斜坡沉积为细粒碎屑岩；在深海盆底为泥质或粉砂质浊积岩。

5）**热沉降阶段Ⅱ：晚白垩世**（93—67 *Ma*）

晚白垩世盆地进入热沉降的第2阶段，在陆棚区快速沉积了厚层的前积层序，其间有几个沉积间断。底部伴随大量的生长断层，发育大规模的以陆棚边缘为界的铲状滑塌沉积。

Orange **河流—三角洲的范围扩大，由于海平面下降，河道下切，形成大规模的沉积体。**

在 Luderitz **以北，东部陆棚有一狭窄的低能量河流到滨岸□湖相粘土岩及薄层石灰岩。在** Walvis **脊发育有生物礁建造。**

6）**热沉降阶段Ⅲ：第三纪—现今**（67—0 *Ma*）

第三纪盆地进入热沉降的第3阶段。盆地持续下沉，沉积中心向海迁移。古新世和始新世为隆起和侵蚀期，而渐新世是最后一个沉积活跃期。纳米比亚海上第三系较薄，向海加厚（1 000～1 700 m**），**Orange **坳陷南部最厚达3 000** m**。**

陆棚的前积沉积在陆棚边缘形成大规模的滑塌沉积，尤其是在 Orange **坳陷的南部。**

由此可见，在西南非洲海岸盆地的构造主要形成于2个阶段（图3－9－3）：

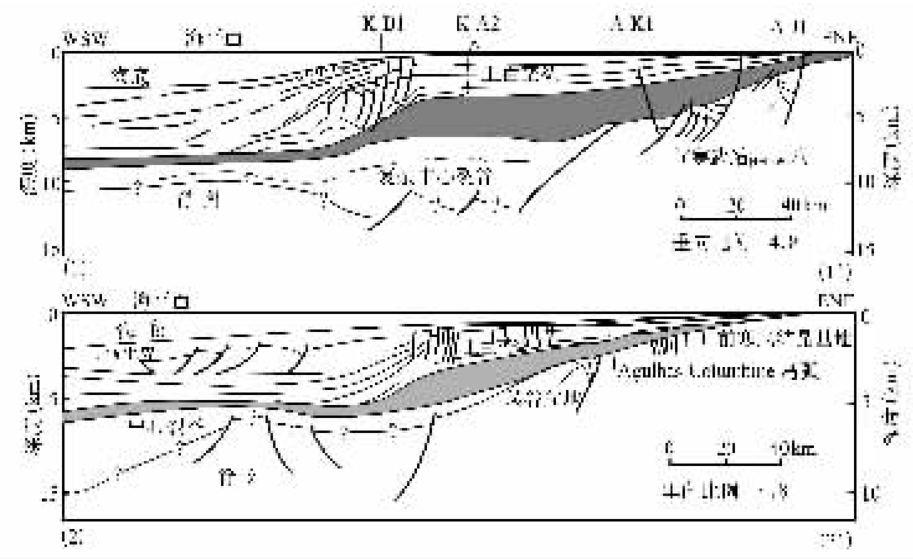


图3－9－3　西南非洲海岸盆地 Orange **坳陷横剖面图**

（剖面位置见图3－9－2）

（1）裂谷作用阶段：东西向拉张形成裂谷、裂谷沉降、裂谷脊部抬升和南北向的正断层，伴随有东西向的过渡带。内部沉积中心的断层可能改造早期的基底组构。

（2）热沉降阶段：形成的主要构造是大规模的坍塌，跨越距离达50～300 km **以上。在坍塌岩床前部为铲状断层和旋转断块；在坍塌岩床端部为叠瓦状逆断层和弯曲断层以及断层产生的褶皱。这种铲状张性断层是在上盘还是下盘增长，取决于同生裂谷作用沉积的数量，沉积速度高则促使上盘增长。**

2. **地层简介**

西南非洲海岸盆地沉积了上侏罗统、白垩系和第三系（表3－9－1）。

（1）上侏罗统—下白垩统：充填冲积和河流相沉积，冲积扇，夹火山岩；厚约3 000～10 000 m**。**

（2）阿普第—西诺曼阶：陆棚为粉砂岩、页岩、河道砂岩和薄煤层及浊积岩沉积；斜坡

为细粒碎屑岩沉积；深海盆为泥质或粉砂质浊积岩；厚0～2 500 m。

（3）上白垩统：前积泥岩和河道切割砂岩沉积；厚0～3 500 m。

（4）第三系：滑塌砂岩和泥岩沉积；厚0～3 500 m。

二、含油气性

1. 烃源岩

西南非洲海岸盆地主要的烃源岩为上巴列姆—下阿普第（K_1）阶还原性页岩，豪特里夫阶同生裂谷页岩是次要的烃源岩。

1）巴列姆阶烃源岩

上巴列姆阶烃源岩包括2套灰色页岩，厚度分别为61 m和127 m，它很可能是Kudu天然气的烃源岩。有机质以陆相来源为主，生湿气和油，平均总有机碳1.3%～1.6%。

2）阿普第阶烃源岩

下阿普第阶页岩在南太平洋有广泛的沉积。该页岩沉积于海侵期。在Kudu地区的钻井中该烃源岩厚度为141～146 m，总有机碳含量1.75%～2%，生烃潜力达11 kg/t。

在深海的O－A 1预探井有近50 m差到中等的Ptian烃源岩，位于13At1不整合面之上，以生湿气到油为主。

另外，在某些地堑中可能有豪特里夫阶烃源岩，A－J1井钻遇60 m的以Ⅰ和Ⅱ型干酪根为主的湖相页岩。在Orange坳陷中可能有土仑—西诺曼阶Ⅲ型干酪根为主的生气源岩。

2. 储集层

西南非洲海岸盆地海上斜坡沉积物东部的三角洲平原边缘形成了质量很好的储集砂岩，这些砂岩在局部海退时经过风的改造，于巴列姆和阿尔布期形成分布很广、很厚的储集层，一些质量很好的储集砂岩出现在早白垩世同生裂谷的砂层中。

该盆地的主要储集层有：

（1）下白垩统凡兰吟至豪特里夫阶同生裂谷储集层：该储集层为河流—三角洲相或湖相砂岩储集层，非常有利于石油储集。但可能由于埋藏太深或胶结作用使储集性能变差，仅在A－J1地区发现含烃的同生裂谷储集油藏。

（2）下白垩统巴列姆阶储集层：该储集层为砂岩，由于沉积环境变化、熔岩夹层和胶结物质不均匀分布，导致这种储集层在短距离内岩性和性质变化很快。Kudu井位于风成砂岩的西部边界，而向盆地方向地层中海相页岩增加。预计向东和向北，在Luderitz坳陷可能有富砂的更好储集层。

（3）下白垩统阿普第至阿尔布阶储集层：储集层为砂岩，主要发育于晚阿普第期到晚西诺曼期，仅在Orange坳陷的中部具有良好的储集层。阿普第砂岩储集层在南北向地堑中最富集，而在沉积中心的两翼趋于消失。但砂岩储集层的渗透率则相反，在两翼较薄的砂岩中趋于变好。在较厚的砂岩中缺少渗透率，可能是由于孔隙间胶结引起的。有些胶结作用是在成岩作用的早期阶段形成的。

（4）上白垩统科尼亚克（Coniacian）阶储集层：亦为砂岩储集层。在许多井中发现晚科尼亚克阶（16A）储集层。在有盖层的圈闭中，该储集层与土仑阶的烃源岩同时存在时，可能是很有意义的。

（5）其他可能的储集层，包括：①晚古生代至早中生代河流和风成砂岩储集层；②中上侏罗统同生裂谷砂岩储集层，它们可能以侵蚀岩屑的形式分布在早期旋转断块的翼部；③土仑至桑托阶（K_2）碳酸盐岩礁块储集层，这种储集层构成了Walvis脊地下已升高的火山上

碳酸盐岩台地的一部分。除了礁块本身外，鲕状灰岩和礁外岩屑也可能具有储集潜力。

3. 盖层

西南非洲海岸盆地储集层的盖层为其沉积后不久的页岩层。同生裂谷阶段和漂移阶段的储集层，其盖层为上覆厚层页岩层，也有以层内的致密段为盖层。

4. 油气生成与运移

西南非洲海岸盆地当前的地温梯度为3.3℃/100 m，推测在早白垩世大陆扩张后的地温梯度较高。在古新世隆起期间，区域加热形成渐新世的高峰地温。根据镜质组反射率资料，古地温可达3.8℃/100 m，自渐新世地温逐渐降低。

镜质组反射率资料表明成熟度随深度增加而增加，在深度4 000 m处，相当于13At1不整合面，成熟度有一台阶变化。在不整合面以上的烃源岩反射率约为1.3%，而在不整合面以下的烃源岩成熟度较高，达1.65%。这可能与地层的有机质性质有关，但更可能是由于早期的沉积经受了较高的热流，形成高地温的影响。

巴列姆阶的烃源岩在早古新世到早渐新世位于生油窗口，但是由于烃源岩的质量较差，生成的少量石油不足以排出。原油仍保存在烃源岩中，尤其在大量由粉砂岩组成的储集层中。在渐新世的高温期形成最高的成熟期，生成天然气并发生排烃，很可能形成Kudu地区的生气烃源岩。渐新世后，温度下降，使得成熟度没有进一步的增加。

Kudu地区，在Orange坳陷局部沉积中心受北部热流的影响，阿普第烃源岩直到早渐新世开始成熟。经历了短暂的生油期（约2 Ma）后，迅速地进入生气窗口。进一步向海和向南，由于地温梯度较低和埋深较浅，阿普第烃源岩未成熟。

豪特里夫阶的烃源岩可能在晚白垩世进入生油窗口。

土仑阶的烃源岩仅在盆地的中心部位接近生油窗口，在盆地北部的成熟度最高。排出的油气主要是沿砂岩层、断层和裂缝向上倾方向运移。

Kudu地区，油气由下向上运移进入巴列姆阶的砂岩储集层。在Kudu地区阿普第阶烃源岩中生成的油气可能向北运移近100 km进入Luderitz坳陷的圈闭。存在远距离的垂向运移，运移距离可能达1 400 m。在渐新世烃源岩已越过生油窗口，并开始生气，于坎佩尼期开始排烃和运移。

5. 含油气组合

在西南非洲海岸盆地Orange坳陷钻了30口初探井，发现了Kudu巨型天然气田，3个亚商业性天然气发现和1个亚商业性石油发现以及许多天然气显示。据此可分出3个含油气组合。

1）含油气组合类型

（1）巴列姆阶构造—地层含油气组合：在Kudu气田，该区带发现2层被玄武岩隔开的储集层。下层可能为风成硬石膏砂岩，上层为海岸相砾状砂岩。巴列姆阶储集层由上倾断层封闭或由上伏页岩封闭。该带为地层圈闭，由于这种地层圈闭位于区域性高点的翼部，因此圈闭是有效的。该含油气组合的天然气储量占全盆地天然气储量的99%以上。

（2）阿尔布阶构造—地层含油气组合：该带发现于A—K1井和A—F1井（图3—9—4）。A—K1井的圈闭是一个在低幅度基底凸起上的压实披覆构造，最小闭合度36 km^2，最大闭合度125 km^2，在许多砂岩透镜体中仅2个具储集层特征，总厚度23 m，孔隙度9%～24%，渗透率（10～100）$\times 10^{-3}\ \mu m^2$。在东北方向上似乎由正断层起封闭作用。A—F1井起圈闭作用的是阿尔布层序中东西向的正断层，具有地层圈闭的性质，闭合度90 km^2，在

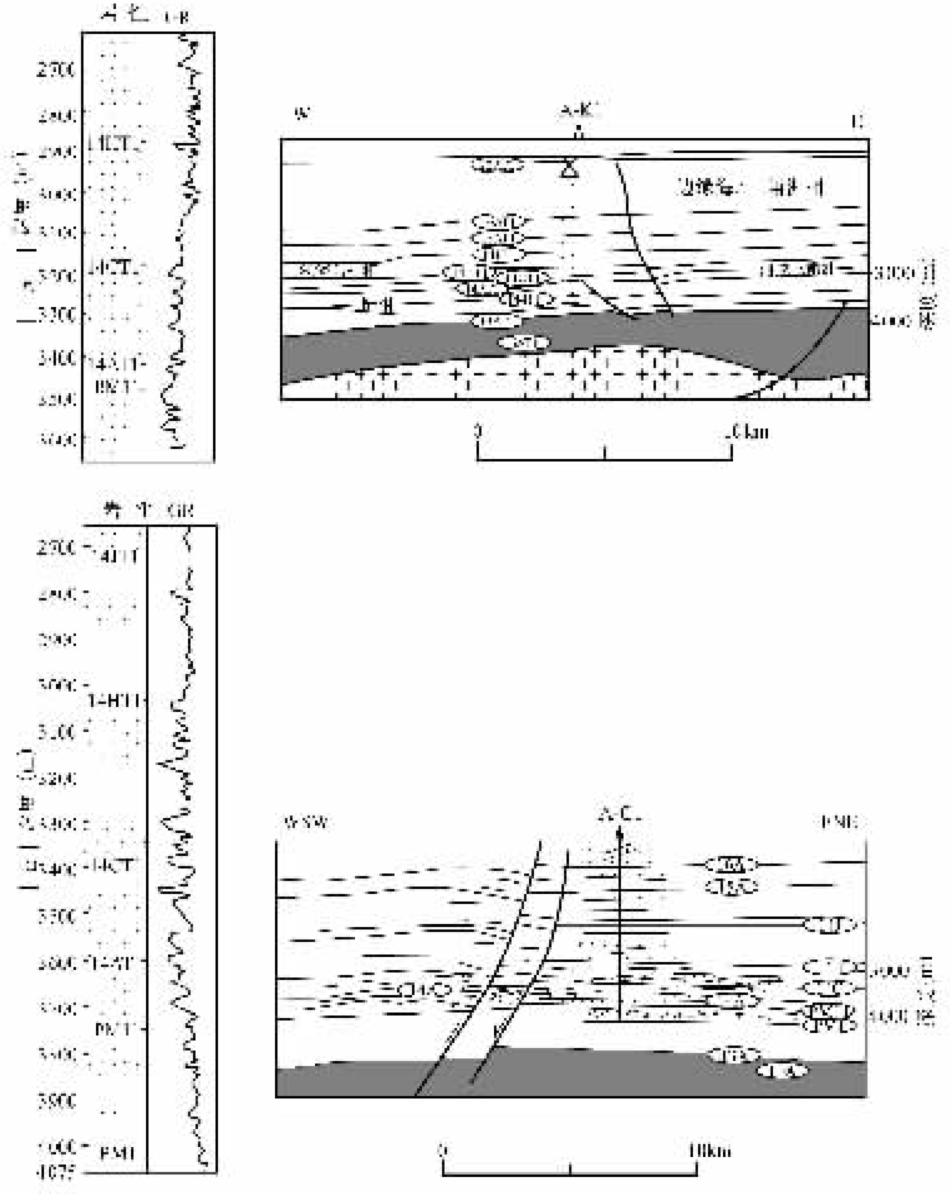


图 3－9－4　西南非洲海岸盆地 Orange 坳陷（引自 Petroconsultants，1994）

A－K1 和 A－G1 天然气发现岩性横剖面

22A—第三系基底；16A—下科尼亚科阶；15A—晚期西诺曼海侵；14A—中阿尔必阶；13A—下阿普第阶

北部断层也起横向封闭作用。储集层由 2 个砂岩层段组成，总厚度 13 m，平均孔隙度 22％～25％，渗透率达 296×10^{-3} μm^2。该带天然气储量占全盆地天然气储量 1％以下。

（3）豪特里夫阶构造—地层含油气组合：该带发现于 A－J1 井，位于东部边缘的地堑区中。圈闭是由半地堑构造中同生裂谷储集层尖灭形成的。这种储集层由湖成砂岩组成，孔隙度 15％，渗透率 48×10^{-3} μm^2，烃的储量很少。该带石油储量占全盆地储量 100％。

2）含油气组合分布

至今西南非洲海岸盆地含油气组合主要分布在盆地与边缘裂陷地区。

3）影响油气有效圈闭的因素

（1）油气生成：西南非洲海岸盆地烃源岩主要是巴列姆—下阿普第阶的还原性页岩，其在早白垩世一经形成便开始了油气生成的历程，在早古新世及早渐新世达到生油窗口，生成部分油气，在渐新世高温期到达生烃高峰期并排烃。

（2）圈闭形成：盆地主要是下白垩统储集层，其多为河流—三角洲及湖岸、海岸砂岩相，形成之后不久经构造变动便形成很好的地层—构造圈闭。

（3）封闭时间：盆地烃源岩生成之后，生成的油气多为同期形成的泥岩、页岩封闭，尤其是断层起了很大的作用，所以对油气最早封闭在白垩纪已经开始了。

通过以上分析可知，西南非洲海岸盆地主要在早白垩世烃源岩形成之后，油气逐渐成熟，但主要是在渐新世之后大量生成并排出油气，而在此之前生成的油气只有部分保存在储集层中，大部分则逸散，生成的油气通过不整合面、断裂运移到储集层中，为构造—地层圈闭捕获形成油气藏。

6．含油气系统

西南非洲海岸盆地存在 2 个白垩系的含油气系统，即阿普第至巴列姆阶含油气系统和豪特里夫阶含油气系统。

1）阿普第至巴列姆阶（K_1）含油气系统

发现于 Orange 坳陷。该系统中的烃源岩生成湿气并倾向于生油，烃源岩可能在坎佩尼期（K_2）开始排出石油，到渐新世时该烃源岩已通过生油窗生成天然气。油气是在构造—地层圈闭封闭条件形成，以后排出与运移进入早白垩世准同生的储集层中。在 Kudu 地区，由阿普第阶页岩生成的油气向北运移，并可能被圈闭在 Luderitz 坳陷中。

2）豪特里夫阶（K_1）含油气系统

该系统含豪特里夫阶湖成同生裂谷页岩，该页岩作为烃源岩在较晚时期达到成熟（目前位于生油窗中）。生成的油气经过短距离的侧向运移进入构造—地层圈闭的同生裂谷湖成砂岩储集层中。目前已证实这一含油气系统的重要性较小。

除上述 2 个含油气系统外，西南非洲海岸盆地其他可能的含油气系统有上古生界和上白垩统含油气系统，但这 2 个系统尚未得到证实，它们可能对已知的油气聚集没有贡献。

根据上述分析可知，西南非洲海岸盆地具有充足的烃源岩，这意味着该盆地具有相当大的石油潜力。但在该盆地进行勘探的主要问题在于寻找成熟度适合的烃源岩、储集层和圈闭，尤其是寻找未被后期坍塌构造破坏的圈闭和相互配量。

三、油气勘探开发现状与效果

1．勘探开发概况

面积巨大的西南非洲海岸盆地全部位于海上。它是一个很独特的盆地，有很宽的陆棚。陆棚斜坡终止深度（400 m）距离海岸 200 km。该盆地的大部分地区位于深海。

目前已探明在盆地的纳米比亚区有很好的天然气远景，而在勘探程度相对较高的南非地区油气远景差。

20 世纪 50 年代，向采矿公司授出第一个勘探许可证。随后的地震调查揭示该盆地缺少构造圈闭。西南非洲海岸盆地最初的地震调查集中在水深小于 200 m 的陆棚区，然后逐渐进入 200～400 m 的深水区。近年来在水深超过 400 m 的地区只进行了一次油气勘探。

1974 年雪弗龙公司在纳米比亚水域获得第 1 口发现井 Kudu 9A—1 井。由于地层的组成原因，该发现的规模尚不清楚，估计天然气地质储量为（566～1 698）$\times10^8m^3$。

20 世纪 70 年代纳米比亚的油气潜力问题妨碍了进一步的勘探。80 年代以来，对 Kudu 地区进行了评价。

在南非区，Soekor 公司进行了地震调查和钻井，仅获得 2 处没有工业价值的较小发现。目前，在西南非洲海岸盆地已发现的油气尚未进行开采。在纳米比亚地区发现的巨型天然气田可能已证实具有工业价值，但南非地区还未获得类似发现。目前壳牌公司及其合作伙伴的南非 Engen 公司投资 2 800 万美元对 Kudu 天然气田进行评估。

由于尚未授出生产许可证，该盆地尚未钻生产井。

2. 储量特征及油气丰度

根据 1995 年 8 月对西南非洲海岸盆地所有油气田和发现的统计，最终油气储量为：油 0.48×10^6bbl 和天然气 50 $280\times10^8ft^3$，其油气丰度见表 3—9—1。

表 3—9—1　西南非洲海岸盆地油气丰度（1995）

类　　型	油和凝析油	天 然 气	总　　量
油气丰度	1.2bbl/km²	$13.2\times10^6ft^3/km^2$	2 206.4bbl（油当量）/km²

四、深层油气田（藏）类型、分布及形成机制

1. 深成油气田分布规律

在盆地内主要发现的是气田，即 Kudu 气田，主要分布于海上。

西南非洲海岸盆地有 1 个深层油发现，其综合特征见表 3—9—2。

表 3—9—2　西南非洲海岸盆地深层油发现综合特征

油气田发现名称	深度（m）	烃类类型	海陆位置	总可采储量（油当量）（10^6bbl）	储集层地层	储集层岩性	成藏组合
Kudu 9A/1	4 277	天然气	海上	1 000		砂岩	巴列姆地层—构造油气带

2. 深成油气田形成机制

Kudu 9A/1 天然气发现于 1974 年，位于海上，水深 165 m，目前无勘探开发活动。Kudu 9A/1 井是在纳米比亚海上的第 1 口钻井。9A/3 井获得南部非洲最大的天然气流。由于压力过高，使发现井无法进行测试。

1995 年原始地质天然气储量为 $8\times10^{12}ft^3$。最终可采储量：天然气 $6\times10^{12}ft^3$，该储量是根据最初的 3 口井的资料进行计算的。重新进行地震解释以确定储集层精确的尖灭位置可能使储量上升到 $60\times10^{12}ft^3$。

勘探方法为地震。截至 1993 年 1 月，已钻 3 口井，其中 2 口天然气井，1 口油气显示井。

主要的储集层为巴列姆阶上 Gas Sand 构造的砂岩和砾岩。共有 2 套储集层，分别位于 4 374 m的下巴列姆阶砂岩和 4 277 m 的上巴列姆阶砂岩。2 套储集层都位于区域凸起的翼部，

在阿普第不整合面下尖灭以及储集层内部的相变形成圈闭。前者的岩性为陆相风成硬石膏砂岩，总厚度平均 64 m，渗透率平均（7～100）$\times 10^{-3} \mu m^2$，在 4 457 m 深度的流动压力为 7 866 psi。后者的岩性为海岸砂岩和砾岩，总厚度平均 52 m，渗透率（0.1～0.2）$\times 10^{-3} \mu m^2$，储集层温度平均 160℃，单相天然气系统。烃源岩可能是阿普第—巴列姆阶的页岩。

五、小结

（1）西南非洲海岸盆地南北向的地堑中，最初是在非海相条件下沉积了上侏罗统至下白垩统的同生裂谷沉积。这种沉积与火山活动和晚期裂谷充填堆积同时扩展，在火山岩台地形成时结束。西南非洲海岸盆地地堑西部的火山活动最强烈，它与早白垩世开始的大陆扩张和南大西洋的开启一致。随着大陆的解体，这种构造形成一种有效的热沉降，单个的坳陷已失去它们的同一性，而且热沉降层有很明确的古地形位置，可细分为海上陆棚、斜坡和盆地环境，海平面的下降与坳陷的热沉降作用复合。在晚白垩世和第三纪时，长达数百千米大规模的滑塌构造横切盆地，使后期裂谷沉积受到干扰。

（2）主要的烃源岩是晚巴列姆—早阿普第期形成的页岩。这些烃源岩在盆地的中央成熟或过成熟，尤其是在 Orange 坳陷的北部。

（3）储集层以分布较广的巴列姆阶和阿尔布阶的厚层砂岩为主，以及早白垩世同生裂谷期生成的部分河流相砂岩。

（4）存在 2 个白垩纪的含油气系统，即阿普第—巴列姆阶含油气系统和豪特里夫阶含油气系统。

（5）西南非洲海岸盆地最终油气储量为：油 0.48×10^6 bbl，天然气 $50\ 280\times 10^8$ ft^3。

（6）西南非洲海岸盆地仅有 1 个深层油发现。

参 考 文 献

Bakirov E A，Nzori S. 1990. Methodological problems in petroleum geology：the case of the east African coastal margins of Tanzania. Kenya and Somalia，15Th Centre in Formation Echanges Geol African Geol Colloq（Nancy，Fr，9/10－13/90）Abstr，313

Burden P L A，Davies C P N. 1997. South Africa offshore E&P：Pt. 1：ExploRation To First Production On Block 9 Off South Africa，Oil Gas J，Vol. 95，No. 36，92－97

Broad D S，Mills S R，1993. South Africa offers exploratory potential in variety of Basins. Oil Gas J，Vol. 91，No. 49，38－44

Roux J. 1997. Potential outlined in southern Outeniqua basin off south. Africa，Oil Gas J，Vol. 95，No. 29，87－88，90－91

Thomson K. 1998. When did the Falklands rotate？Mar Petrol Geol，Vol. 15，No. 8，723－736

第十节　锡尔特盆地

锡尔特（Sirte）盆地位于北非沿地中海海岸利比亚陆地及近海区，其北面为锡尔特海湾深水区，东北面紧邻 Cyrenaica 地台，南东界为 Jabal Al Zalmah 穹窿，南抵 Tibesti 地体，西南面为 Murzuk 盆地，西以 Gargaf 隆起和 Ghadames 盆地为界。总面积 472 725 km^2，其中陆地面积 404 760 km^2，海域面积 67 965 km^2（图 3－10－1、图 3－10－2），除沿海岸的

耕地面积和内陆绿洲外，该盆地的大部分地区为沙漠。

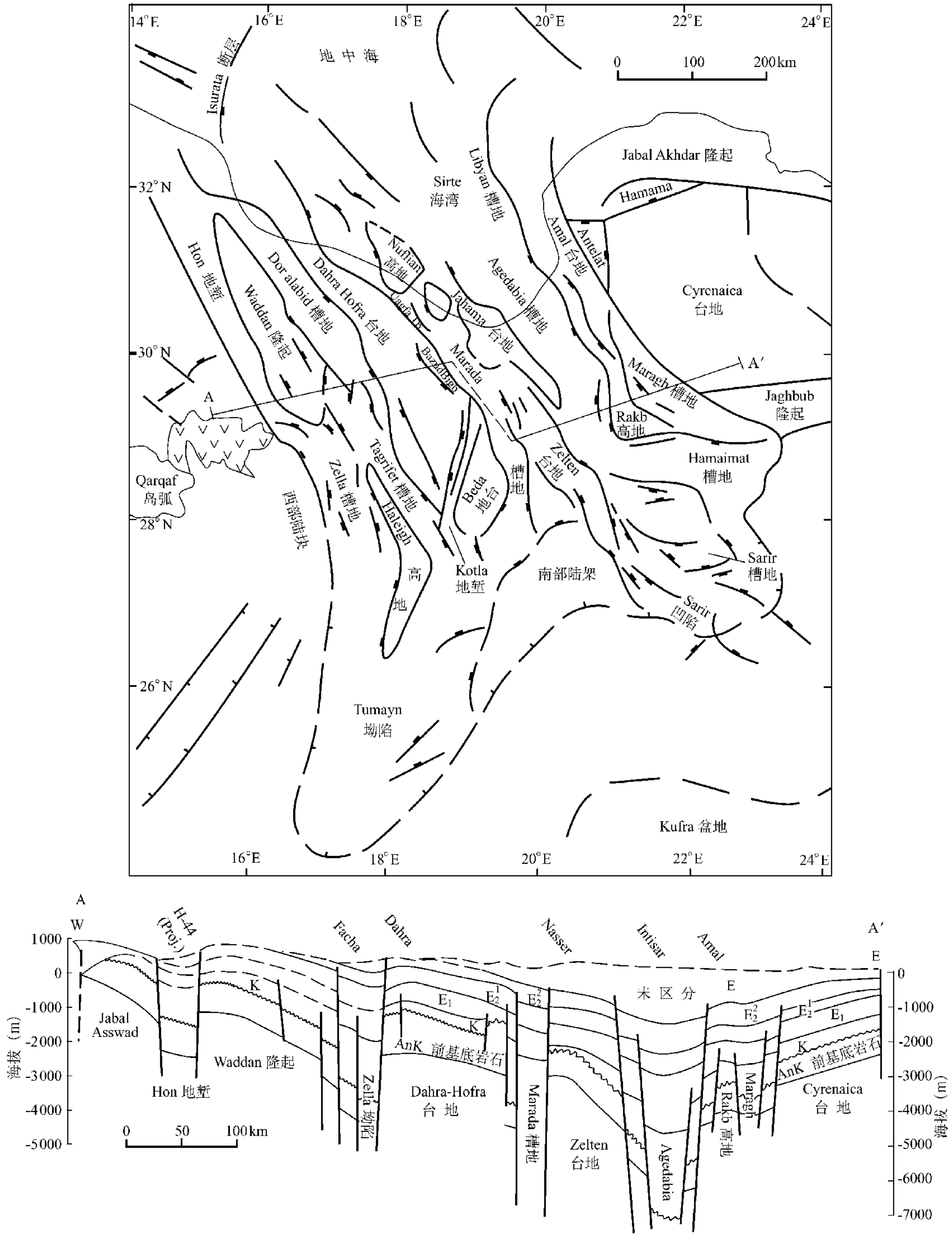


图 3－10－1　锡尔特盆地位置及其坳陷分布图

（据 Waha Oil Company，1993）

一、区域地质

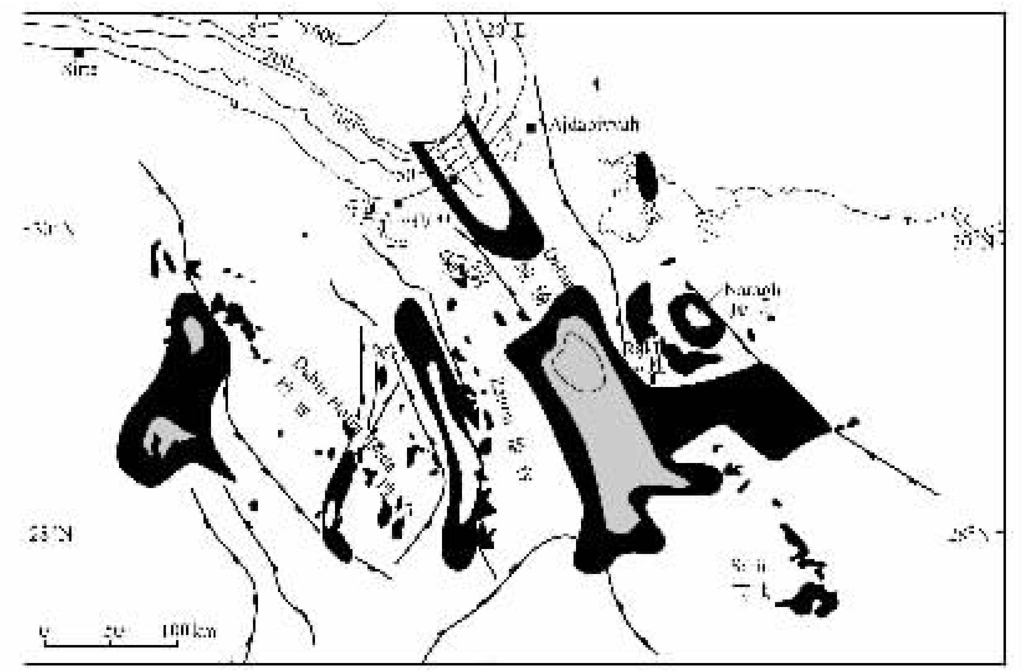


图 3－10－2　锡尔特盆地构造纲要图（据 Ibrahim M W，1987 年修改）

1. **盆地演化**

锡尔特盆地演化分为 4 个阶段。

1）**基底形成期**

盆地基底形成于前寒武纪，由花岗岩和其他侵入岩、火山岩和变质岩组成。

2）**前裂谷期：寒武纪至早白垩世**（550—97*Ma*）

此时，被动大陆边缘坳陷和陆架层序由古非洲板块北缘向南加厚覆盖全盆。在寒武—奥陶系 Gargaf 群裂缝石英岩之上，由于盆地而遭受剥蚀未接受沉积，故古生代和中生代地层大部分缺失，仅局部残存三叠系和侏罗系。下白垩统 Nubian 组砂岩和页岩属前裂谷期末至裂谷初期的充填物，代表了盆地演化向裂谷阶段之转化。

3）**裂谷期：晚白垩世（西诺曼期）至始新世末**（97—35.4 *Ma*）

晚白垩世早期，古特提斯洋发生了一次大的水侵，由北向南侵入锡尔特盆地。此时至始新世（97—35.4 Ma）即为盆地裂谷发育期。此阶段为拉张应力环境，产生正断层和北西—南东向构造。大多数断层切穿中生界和下第三系，断距达 300 m，其中主断层呈犁式，系断块掀斜所致。整个盆地向东掀斜，每个地堑都是总体不对称的，倾向东北翼，并且东缘为断层所限，地层自西向东加厚。

白垩纪末，几乎整个盆地被广阔陆表海所覆盖；一部分发育 Kalash 组开阔海沉积，而另一部分同期发育 Waha 组、Samah 组和 Satal 组更浅水沉积，这些地层可全区对比，同时也掩盖了早期构造沉积史。

古新世的沉积与 Kalash 组为整合接触，此时，锡尔特盆地出现了地壳拉张的新时期，因而，古新世的海侵淹没了全盆（图 3－10－3），沉积了一套厚层海相沉积层序，其中泥岩发育于坳陷的低能带，在海侵期分布于大部分区域；碳酸盐岩沉积在盆内地垒上，受水深、地理和水流的控制。在此海进海退旋回中，特别是在盆地的中西部地区，泥岩盖层与碳酸盐

岩储集层形成交互式组合。此时期发育北西—南东向主要断裂系统和北东—南西向次要断裂系统，这些断裂的差异运动沿盆内凸起产生天窗式构造，尤其是在 Zelten 地区。

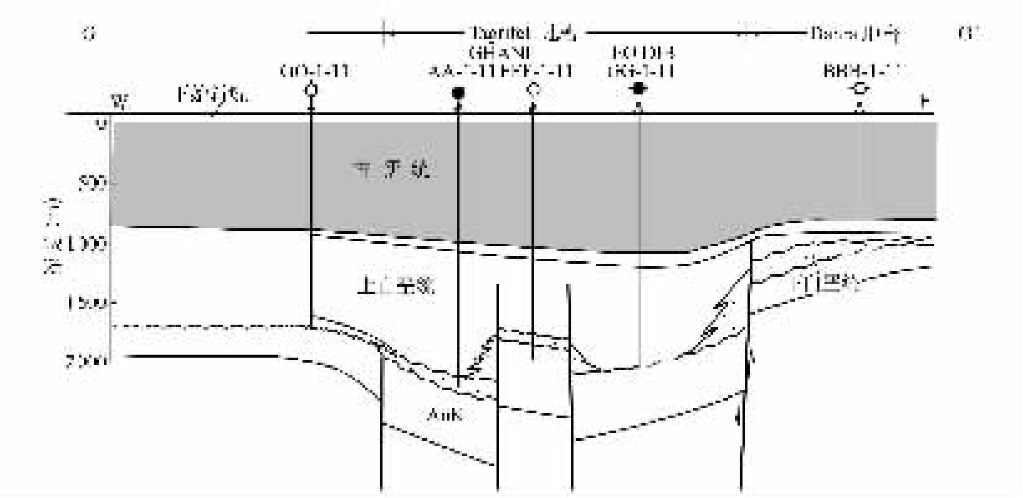


图 3－10－3　锡尔特盆地西部区域性横剖面

（据 Gumati，Kanes，1985 年修改）

古新世晚期，在 Agedabia 坳陷出现了生物礁理想的生长环境，生物礁厚逾 350m，完全处于泥岩盖层封闭之中，是一个良好的储集体。再往东，凸起区主要发育浅海碳酸盐岩，在低洼区发育页岩和石灰岩。

始新世盆地继续沉降和沉积，始新世早期，沉积了 Gir 组，在盆地东部由石灰岩、白云岩和硬石膏组成，没有储集能力；在盆地西部，Gir 组分为两个段，下部为海退形成的 Facha 白云岩段，储集性能良好；上部为 Hon 蒸发岩段，由蒸发岩和石灰岩组成，是优良盖层，此外局部发育 Mesder 石灰岩段。

始新世中期，发育 Gialo 石灰岩地层，在盆地东部是一套较厚的虫灰岩层序，有一定储集性能；在盆地西部，特别是 Zella 断陷、Vaddan 隆起和 Hon 地堑，Gialo 组石灰岩之上为陆相砂岩、石膏和红色泥岩。

始新世晚期，Augila 组全盆发育，为浅海沉积。但由于盆地掀斜，从 Dahra 台地往西，Augila 组已被剥蚀，而在盆地东部，Augila 组形成局部储集层。始新统总厚达 1 800 m，其中、上始新统前景欠佳，可能是构造作用弱的缘故。

研究表明，该盆地构造沉降速率在 90—64 Ma 期间相对较低，在 64—40 Ma 期间相对较高。Agedabia 坳陷等沉积中心在整个裂谷阶段继承性发育，而 Tagrifet/Zella 坳陷开始形成于 60 Ma 前，并在 50 Ma 时为发育的鼎盛时期，Marada 坳陷仅发育于 60—40 Ma，Dahra 台地北部则在 50 Ma 前后一较短时期沉积了一套较厚的层序。研究还表明，台地区地壳减薄 10％～40％，而盆地区减薄 25％～75％。

4）裂谷后坳陷期：上新世至今（35.4—0 *Ma*）

后裂谷期，锡尔特盆地发生区域性沉降，其后期为区域性、无断层下拗，从而形成内陆坳陷盆地。坳陷期层序包括渐新统及以上地层。中新世中期，盆地陆地部分已定型。

2. 地层简介

该盆地的地层结构较复杂，不同地区或坳陷名称存在着较大差异，同时，地层的横向对

比性也较差，下面仅就主要群、组的特征加以描述（表3－10－1）。

1）上白垩统

分为上下2套地层，下部主要由Bahi和Maragh组成，以浅海相砂岩沉积为主；上部则为Rakb群，在部分地区为泥岩、蒸发岩及石灰岩，局部地区为Lidam组的白云岩。在深陷区Rakb群厚达1 500 m，构成该盆地主要烃源岩；而凸起区此套地层明显减薄，局部甚至缺失。

2）古新统

与下伏地层为整合接触，主要为一套厚层海相地层，地垒上水相对较浅，以碳酸盐岩沉积为主，而坳陷中则相对较深，以泥岩沉积为主，该统最大厚度为1 066 m。

3）始新统

下始新统以Gir组为主，在盆地西部可分为Facha和Hon 2个段，沉积了一套相对较为炎热气候条件下的碳酸盐岩和蒸发岩地层。东部在Gir组之上局部存在Mesder石灰岩段。中始新统为Gialo组，以浅海相石灰岩沉积为主，在局部地区其上发育了陆相砂岩、石膏和红色泥岩。上始新统主要为Augila组的浅海相沉积，局部地区遭受剥蚀。

4）渐新统

可分为Arida和Diba两个组，均由浅海相砂岩和页岩组成，厚300 m。在Dabra台地，Arida组发育礁灰岩，而在Gialo地区Arida为重要储集层。

5）中新统

中新统为Marada组，系潮坪、□湖、三角洲、沙坝和浅滩相沉积，厚120 m。

6）上至更新统

地层很薄乃至缺失。

二、含油气性

1. 烃源岩

锡尔特盆地主要烃源岩是上白垩统Sirte组泥岩。该组全盆展布，仅在隆起最高部位减薄或缺失，由海相深褐—黑色含蜡、含黄铜矿页岩组成，其有机质含量达5%，已生成大量烃类。

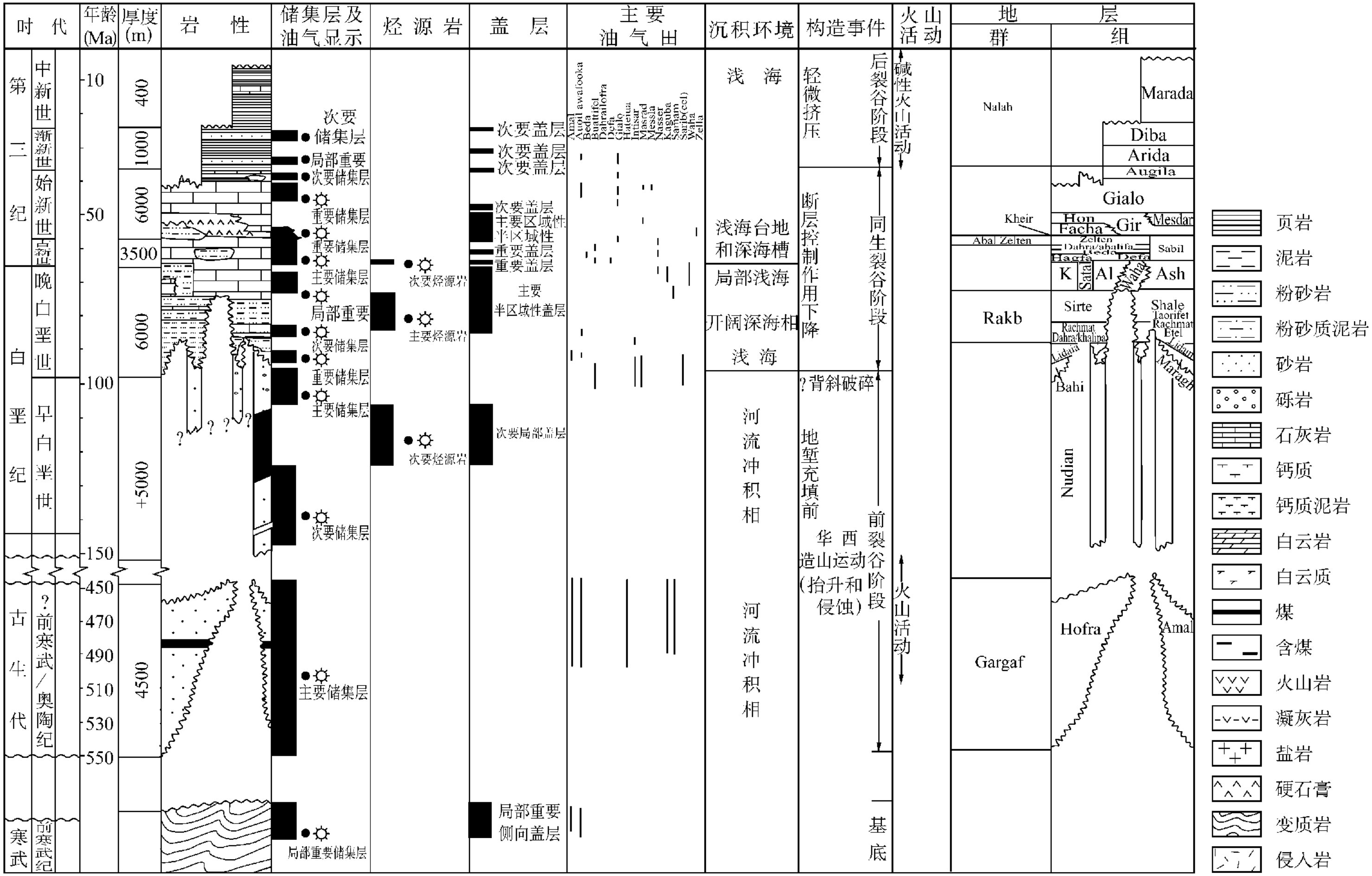
尽管该组在各主要坳陷均已成熟，但其在盆地东部相对更为发育，在Agedabia坳陷最厚达600 m，而在邻近Amal—Nafoora隆起仅厚60 m（仍为良好烃源岩）。干酪根类型在大部分地区为Ⅱ型，在边缘地区为Ⅲ型。据研究，纬度28°以南泥岩质量较差，有机质含量少且未成熟，这可能是巨大的Sarir地盾南部未发现油气的主要原因。在Agedabia坳陷北部，Sirte组埋深达生气带，Zelten北部气田的气源可能源于此（图3－10－4）。

在Agedabia坳陷，DDZA－59井成熟度曲线表明，Sirte组烃源岩在渐新世晚期（约26 Ma前）进入生油窗（$TTI=15$），生油高峰期（$R_o=0.7\%\sim1.6\%$）在埋深3 000～4 000 m，生气期（$R_o>2\%$）在埋深4 400 m以下。据Tagrifett和Zella坳陷资料研究表明，在盆地西部，镜质组反射率值比现今地温梯度高，推测此差异是区域隆升，约1 000 m的渐新统被剥蚀所致。

上白垩统Rachmat组有机质含量与Sirte组相近，但分布相对较为局限。在发育区，此组亦是Rakb群含油气系统的良好烃源岩之一。

下第三系页岩，特别是下古新统泥岩，具有良好生烃潜力，Agedabia坳陷中的Intisar生物礁油藏的油源即来自古新统Sheterat和Kheir组页岩。相似地，锡尔特盆地西部Ghani油田Beda组Al Furud段原油来自古新统Hagfa组页岩。

表 3－10－1　**锡尔特盆地综合地层(引自** Michael G Colley, Theodhora, Piperi, 1995)



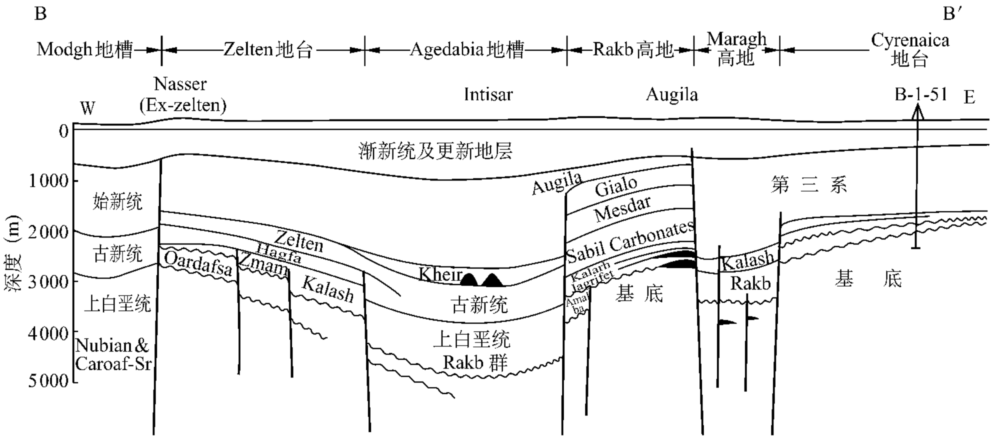


图 3－10－4　锡尔特盆地东部区域性横剖面

（引自 Michael G Colley，Theodhora Piperi，1995）

研究表明，古新统下部页岩在 Agedabia 坳陷深部位处于早期成熟阶段，R_o＝0.67％～0.71％；但在 Tagrifet 坳陷处于成熟初期，R_o＝0.5％，而其上层位基本上未成熟。

热模拟结果显示，晚白垩世盆地地温梯度较高，为 2.5～3.3℃/100m；而第三纪初地温梯度则较低，为 2.2℃/100m；此后地温梯度可能与现今地温梯度相同。盆地地温梯度主要与热传导系数（是孔隙度和岩性的函数）有关，其次与埋藏深度有关。

下白垩统 Nubian 组中部的湖相页岩是 Hamaimat/Sarir 盆地区中的重要烃源岩，具有生成石蜡型原油的潜力。

2. 储集层

现已查明该盆地的储集层发育于基底至渐新统的所有层位中。

1）基底储集层

前寒武系基底储集层发现于 Amal—Nafoora 古凸起区，由裂缝型、风化型花岗岩和火山岩组成，是 Amal 和 Augila－Nafoora 等 2 个大油田及 Rakb 区小油田的重要储集层，这些储集层系岩石经机械破裂、花岗岩的暴露剥蚀和喷发作用形成的。花岗岩在为钙质胶结时可经冲洗形成次生成岩孔隙。此类储集层拥有原始可采储量见表 3－10－2。

表 3－10－2　锡尔特盆地各储集层拥有可采储量

储集层发育的层位		原始可采储量	
统	组	油（10^6 bbl）	气（10^{12} ft^3）
渐新统	Arida/Diba	1 310	0.22
始新统	Gir	712	0.28
	Giale	2 622	0.36
	Augila	113	（0.005）

古新统	Defa（和相应层位）	**2 009**	**0. 63**
	Beda	**2 001**	**0. 15**
	Dahra	**961**	**0. 59**
	Zelten（和相应层位）	**2 289**	**1. 80**
	上 Sabil	**2 430**	**3. 57**
	下 Sabil	**30**	**0. 25**
上白垩统	Lidam	**366**	**0. 01**
	Bahi	**709**	**3. 68**
	Maragh	**1 110**	**1. 00**
	Tagrifet	**898**	**0. 61**
	Kalash 石灰岩（和相应层位）	**3 702**	**1. 83**

续表

储集层发育的层位		原始可采储量	
统	组	油（10^6bbl）	气（10^{12}ft^3）
前下白垩统	Nubian	10 320	3.5
	Gargaf	3 812	8.3
基　　底		791	0.2

2）前下白垩统储集层

发育于 Gargaf 群和 Nubian 组，Gargaf 群石英砂岩全盆广布，为辫状河沉积的产物，厚达 1 400m，其中 Amal 组分布于盆地东部，Hofra 组分布于盆地中部和西部。Amal 组在 Amal—Nafoora 古凸起区是一个重要储集层，而 Hofra 组在 Zelten、Beda 和 Dahra 台地区是众多油田的主要产层。这些储集层的原始孔隙度总体较差（可达 12%），但风化作用和破裂作用改善了储集层质量。该群储集层拥有的原始可采储量见表 3－10－2。

Nubian 组储集层最为重要，Bu Attifel、Sarir 和 Messla 等在利比亚最大油田均发育有 Nubian 组储集层。由于其沉积环境为远源辫状河到高能曲流河，因此 Nubian 组储集层物性良好，孔隙度在 5%～27%之间，平均为 16%，渗透率（10～800）$\times 10^{-3}$ μm^2，平均为 150×10^{-3} μm^2，即使在 Hamaimat 坳陷等地区，该组埋深也很大（>4 500 m），这是由于该盆地充填之前同生共轴硅质胶结物的抗压实等因素，使孔隙度得以保存的缘故，其物性亦未变差。Nubian 组可分为上部砂岩段、中部泥岩段和下部砂岩段。大多数情况下，上部砂岩段含油气较普遍，有时上部和下部砂岩段均可作为产层，如 Rimal 油田。从区域上看，Nubian 组各段岩性关系复杂，有许多尖灭和上超现象。Nubian 组总厚超过 11 500 m，但该组几乎所有含油气层均位于盆地东部。该组储集层拥有的原始可采储量见表 3－10－2。

3）上白垩统储集层

包括碎屑岩储集层和碳酸盐岩储集层两类。晚白垩世发生海侵，沉积了 Bahi（盆地中部）和 Maragh（盆地东部）组浅海相砂岩，二者的形成时间并不一致，但仍为重要储集层，孔隙度高达 26%，渗透率高达 500×10^{-3} μm^2，含油气性及产能良好。

在晚西诺曼期，盆地局部海进沉积了 Lidam 组白云岩，其孔隙发育，在 Masrab 油田区孔隙度达 20%，渗透率高达 $9\ 000\times 10^{-3}$ μm^2，为该油气田的主力产层。

再往上的 Rakb 群总的来说不具储集能力，但有一个例外，在 Augila—Nafoora 油田，Tagrifet 组石灰岩为良好储集层，其孔隙度和渗透率分别高达 16%和 50×10^{-3} μm^2；在 Dahrak 台地 Haram 油田，与 Tagrifet 组相应层位也产油气。

Kalash 石灰岩全盆展布，主要为泥质灰岩相，局部相变为生物礁和白云岩，分别称 Waha、下 Satal 和 Samah 白云岩组。Wana 组在 Zelten 台地南部为重要储集层，在 Waha 和 Defa 油田平均孔隙度为 18%，平均渗透率高达 $2\ 000\times 10^{-3}$ μm^2。Samah 组白云岩在 Beda 台地南端的 Samah 和 Bel Hedan 油田形成重要储集层，平均孔隙度 14%。在 Dahra 台地的 Ragwba 油田，Kalash 石灰岩为浅水砂质灰岩相，平均孔隙度、渗透率分别为 17%和 200×10^{-3} μm^2。在 Kotla 地堑 Kotla 油田，与 Kalash 石灰岩对应的 Gheriat 组亦为重要储集层。上白垩统各组拥有的可采储量见表 3－10－2。

4）古新统储集层

古新统储集层多，主要为碳酸盐岩。总体上看，古新世时，盆地中西部坳陷区充填页

岩，而在盆地鞍部西翼高部位发育点礁型碳酸盐岩，但也有一些例外。

在 Dahra、Beda 和 Zelten 台地，在海进海退旋回的不同时期均发育重要点礁型碳酸盐岩。其中 Defa 组石灰岩在 Zelten 台地南端形成重要储集层，平均孔隙度为 18%，平均渗透率高达 $500\times10^{-3}\ \mu m^2$；与 Defa 对应的上 Satal 组在 Dahra 台地西北部也为重要储集层，平均孔隙度 25%，平均渗透率约 $200\times10^{-3}\ \mu m^2$。Beda 台地的许多油田中有 Beda 组储集层，平均孔隙度为 22%，平均渗透率为 $25\times10^{-3}\ \mu m^2$。Dahra 组储集层局限于 Dahra 台地西北地区，平均孔隙度 24%，平均渗透率 $100\times10^{-3}\ \mu m^2$。Zelten 组石灰岩储集层见于 Zelten 台地，是 Nasser 大油田的主要储集层，平均孔隙度为 20%，平均渗透率为 $100\times10^{-3}\ \mu m^2$。

古新统产层也出现在 2 个深坳陷地区。在 Agedabia 坳陷，上 Sabil 组发育厚 400 m 的透镜状生物礁，这些生物礁构成了 Intisar "A"、"D" 大油田和其他油田及其含油气圈闭的主体，其孔隙度高达 35%，渗透率为 $500\times10^{-3}\ \mu m^2$。在 Tagrifet/Zella 坳陷，Beda 组为 Ghani Zenall 和 Sabah 等油田提供了储集层，其 Al Furnd 层段的平均孔隙度为 18%。古新统次要储集层还发育于 Harash 和下 Sabil 组。古新统各组拥有的可采储量见表 3－10－2。

5）始新统储集层

始新统储集层在局部地区是重要储集层，岩性为碳酸盐岩。在盆地西部 Tagrifet 和 Zella 坳陷中，Gir 组的 Facha 白云岩段是许多油田和含油圈闭的储集层，储集层由海退层序中的潮上带白云岩组成，其平均孔隙度为 20%，上覆的 Hon 蒸发岩段碳酸盐岩是良好盖层，仅局部具储集能力。

在 Gialo 地区，Gialo 组是一些油田和含油圈闭的重要储集层，平均孔隙度和渗透率分别为 22%和 $26\times10^{-3}\ \mu m^2$。在 Augila—Nafoora 和 Gialo 油田，Augila 组 Rashda 段亦是次要储集层。始新统各组储集层拥有的可采储量见表 3－10－2。

6）渐新统储集层

以 Arida 和 Diba 组储集层为代表。Arida 组储集层为高孔型浅海相砂岩，平均孔隙度 25%，平均渗透率 $1\ 500\times10^{-3}\ \mu m^2$，在 Gialo 油田为重要产层。Diba 组砂岩则为 Augila—Nafoora 油田次要储集层。渐新统储集层拥有的可采储量（表 3－10－2）。

3. 盖层

锡尔特盆地上白垩统至始新统发育良好的区域性和地区性盖层，始新统上部和渐新统还发育局部性盖层，这些盖层特别是 Gir 组蒸发岩盖层的封盖性能强，盆内未发现地表油气渗逸即是其有力证据。其主要盖层如下：

（1）上白垩统盖层（Rakb 群）：为广海相页岩和局限环境的蒸发岩，是地区性盖层，封盖基底储集层和前上白垩统储集层。

（2）下古新统至下始新统（Hagfa、Khalifa 和 Kheir 组）：为海进环境沉积的页岩，是地区性和区域性盖层，封盖其下的碳酸盐岩储集层。

（3）下始新统 Gir 组：局限环境形成的蒸发岩、页岩和泥质灰岩，是区域性盖层，对下伏储集层具良好封盖作用。

（4）上始新统至渐新统（Augila、Arida 和 Diba 组）：为页岩和钙质泥岩，是局部盖层，封盖本层及下伏储集层。

4. 构造

盆地内局部构造是裂谷初期（侏罗纪末至早白垩世）、同生裂谷期（晚白垩世—始新世晚期）、后裂谷期构造活动形成的。

1）裂谷初期构造

裂谷初期在扭张和拉张作用下，表现为盆地南部 Hamaimat 和 Sarir 坳陷产生东西向断层，地堑中充填巨厚的陆源碎屑，基底的早期薄弱带复活。

主要作用：北或北西至南或南东向拉伸。

主要表现：断层下降盘向南北两侧发生倾向或斜向错动。

主要构造：垒断块和掀斜断块，可发生旋转，也可不旋转。

2）同生裂谷期构造

既在盆地中西部产生地垒和地堑沿北西—南东向展布的构造格局，又改造了早期构造。

主要作用：北东—南西拉张。

主要表现：断层发生倾向或斜向错断，方向主要为北东—南西向，其次是北西—南东向和南北向。

主要构造：大型掀斜地垒、掀斜和旋转断块、断褶皱、牵引褶皱、披覆褶皱和差异压实构造。

3）后裂谷期构造

此阶段盆地整体下降，形成的大型坳陷叠置在早期断块构造之上。闭合局限于本构造层，油气聚集于与古台地边界断层选择性复活有关的挠曲中。

主要作用：沉降。

主要表现：沉降。

主要构造：披覆构造和差异压实构造。

5．油气生成与运移

锡尔特盆地各坳陷的油气运移时间主要受控于其地温梯度、上覆地层厚度、沉积速率等因素。总的看来，早期少量油气运移发生于始新世，而主要运移期为晚渐新世。因为所有储集层都分布在上白垩统之下，所以锡尔特盆地的油藏都在源岩之下。典型的例子如 Amal、Augila—Nafoora、Messla、Bu Attifel 和 Sarir 等油田。在构造高部位的储集层较好，有利于聚集来自沉积中心并通过断层、不整合面运移的油气。

许多同沉积断层均伴随有滚动背斜，地层的相变有利于油气的运移与圈闭。以大多数古新统储集层为例，油气运移直接沿盆内地垒边界断层运移，而在一些情况下，由于缺乏顶部盖层，油气发生侧向运移，进入具有适合盖层的孔隙型储集层中成藏。在 Beda 台地，Satal 组尽管发育孔隙型储集层，但由于缺乏盖层而不含油，反之，Beda 组有上覆盖层，则形成了油气聚集。在古新统烃源岩成熟的生油地区，油气可能发生短距离运移进入其上下储集层中，如进入 Agedabia 坳陷的 Intisar 生物礁中，亦可能通过断层运移进入 Tagrifet 坳陷的古新统和始新统储集层中。

6．含油气组合

锡尔特盆地共识别出 26 个含油气组合，这些含油气组合按地层分为前上白垩统、上白垩统、古新统、始新统和渐新统含油气组合，再按圈闭类型进一步细分。

1）前上白垩统含油气组合

这些含油气组合的储集层分别为基底储集层、Gargaf 群储集层和 Nubian 组储集层，它们的最终盖层为上白垩统 Rakb 群页岩和蒸发岩。这些含油气组合所拥有的油气最终可采储量为全盆的 41.9％。

（1）基底构造—不整合型含油气组合：产出于 4 个油田，油、气储量分别为全盆地的

2.2%和0.7%。其圈闭类型在Rakb DD和JJ油田为基底断块，而在Amal和Augila—Nafoora油田则为古地垒；储集层为裂缝—风化型花岗岩和火山岩；盖层为上白垩统Rakb群页岩和蒸发岩。

(2) Gargaf构造—不整合型含油气组合：见于19个油田发现中，油、气储量分别为全盆地的3.5%和26.9%。其圈闭类型为断块；储集层是Amal和Hofra组中的裂缝型花岗岩和石英砂岩；盖层为上白垩统Rakb群页岩和蒸发岩。

(3) Gargaf构造—地层—不整合含油气组合，仅在Amal油田中见到，油、气储量分别占全盆地的7%和8.6%。Amal组沿Amal古凸起顶部尖灭形成上倾尖灭圈闭；盖层为Rakb群页岩和蒸发岩。

(4) Gargaf构造含油气组合：仅产出于1个油田，油气储量较小。

(5) Nubian构造—不整合型含油气组合：产出于50个油气田或发现，油、气储量分别占全盆地的24.6%和10.1%。圈闭类型一是断块型（如Bu Attifel巨型油田），一是掀斜断块（如Sarir巨型油田，见图3—10—5）；储集层为Nubian组陆相砂岩，盖层为Rakb群页岩和蒸发岩。

(6) Nubian构造—地层—不整合型含油气组合：在4个油气田或发现中见到，油、气储量分别占全盆地的3.7%和2.0%。Nubian组砂岩沿基底古凸起上倾尖灭形成圈闭，侧向为千枚岩封堵，垂向为Rakb群页岩和蒸发岩封盖，Messla巨型油田即是此含油气组合的一个实例（图3—10—6），同时也是一个深层油气田。

(7) Nubian构造含油气组合：产出于3个油气田或发现中，油、气储量分别占全盆地的0.04%和0.03%。储集层为Nubian组下段，盖层为Nubian组页岩，圈闭为断背斜。Riunal油田下部储集层即是这一次要含油气组合的实例。

(8) 含油气组合分布：前上白垩统含油气组合分布于锡尔特盆地东部，只有Hofra组油田和发现例外。Nubian组及其相应层位分布于锡尔特盆地东部边缘，其他坳陷区因无深钻而不能断定Nubian组的分布情况。

2) 上白垩统含油气组合

(1) Kalash构造含油气组合：为上白垩统中最重要的含油气组合，产出于27个油气田或发现中，油、气储量分别占全盆地的8.8%和4.6%。圈闭为背斜、断背斜，储集层为Kalash组及其对应地层，盖层为Hagfa组页岩。

(2) Kalash构造—地层含油气组合：仅见于Raguba油田，油气储量为全盆地的1.4%和1.7%。储集层为Kalash组砂质灰岩，地层披覆并尖灭在Gargaf组大背斜之上形成圈闭，盖层为Hagfa组页岩。

(3) Bahi构造含油气组合：产于17个油气田或发现中，油、气储量分别占全盆地的1.9%和1.3%。储集层为Bahi组浅海相砂岩，构造为断块，盖层为Rakb群页岩和蒸发岩。该含油气组合是Zelten台地区众多油田和Augila—Nafoora油田的主要勘探目标。

(4) Maragh构造—地层含油气组合：见于Amal油田，油、气储量分别占全盆地的3%和3.5%。Maragh组在Amal构造东翼上倾尖灭形成圈闭，盖层为Rakb群页岩和蒸发岩。

(5) Tagrifet构造含油气组合：产出于3个油气田或发现中，油、气储量分别占全盆地的2.5%和2.1%。储集层为Tagrifet组浅海石灰岩，构造为背斜，盖层为Rakb群页岩和蒸发岩。Tagrifet组是Augila—Nafoora大油田中的1个主要产层。

(6) Lidam构造含油气组合：在10个油气田或发现中见到此组合，油储量为全盆地的

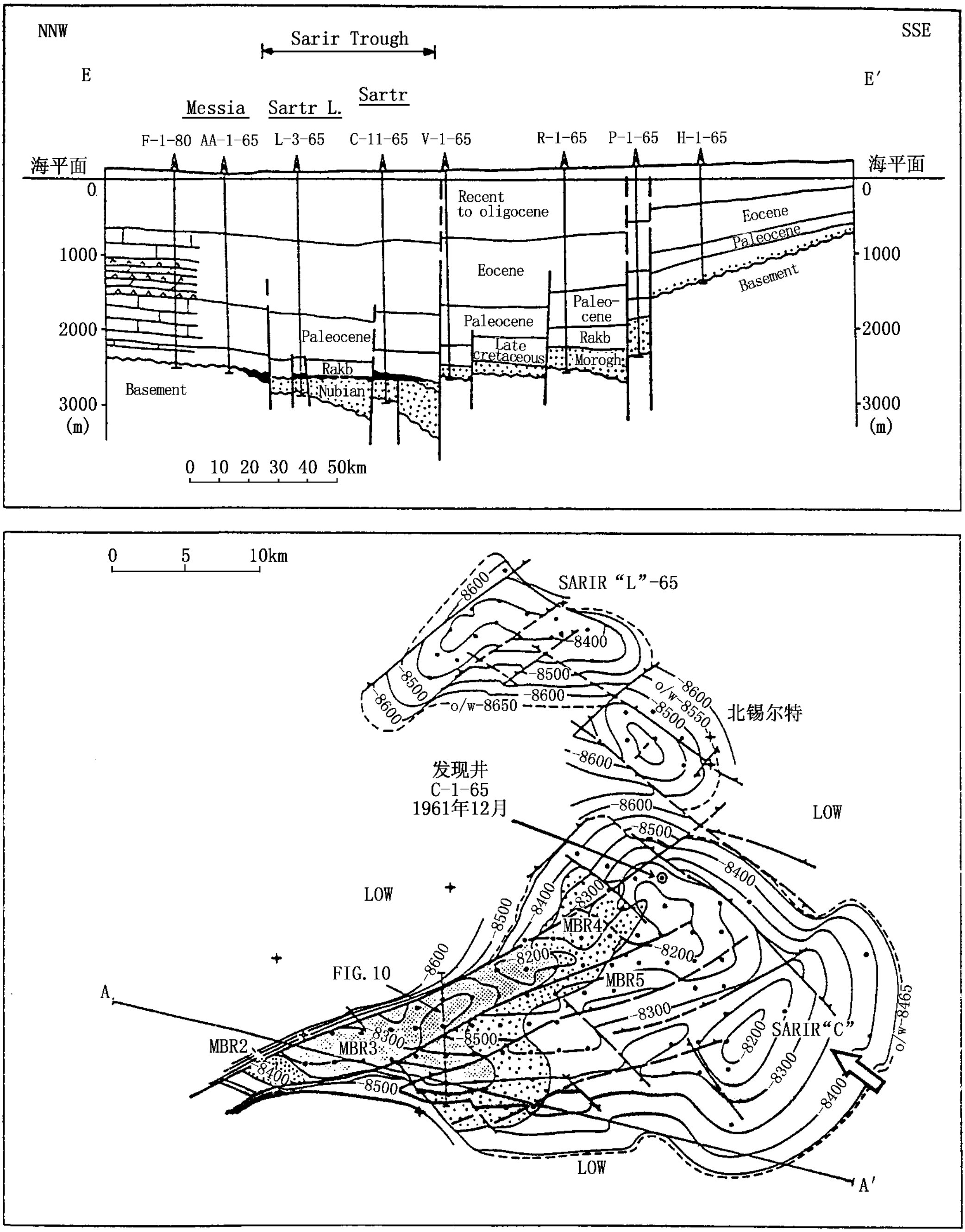


图 3－10－5　锡尔特盆地 Sarir 油田横剖面及构造顶面图

（据 Sanford，1970）

1%。储集层为 Lidam 组白云岩，构造为断块，盖层为 Rakb 群页岩和蒸发岩。

（7）Maragh 构造含油气组合：非常小，仅产于 1 个发现中。

3）古新统含油气组合

（1）Defa 构造含油气组合：产于 11 个油气田或发现中，油、气储量分别占全盆地的

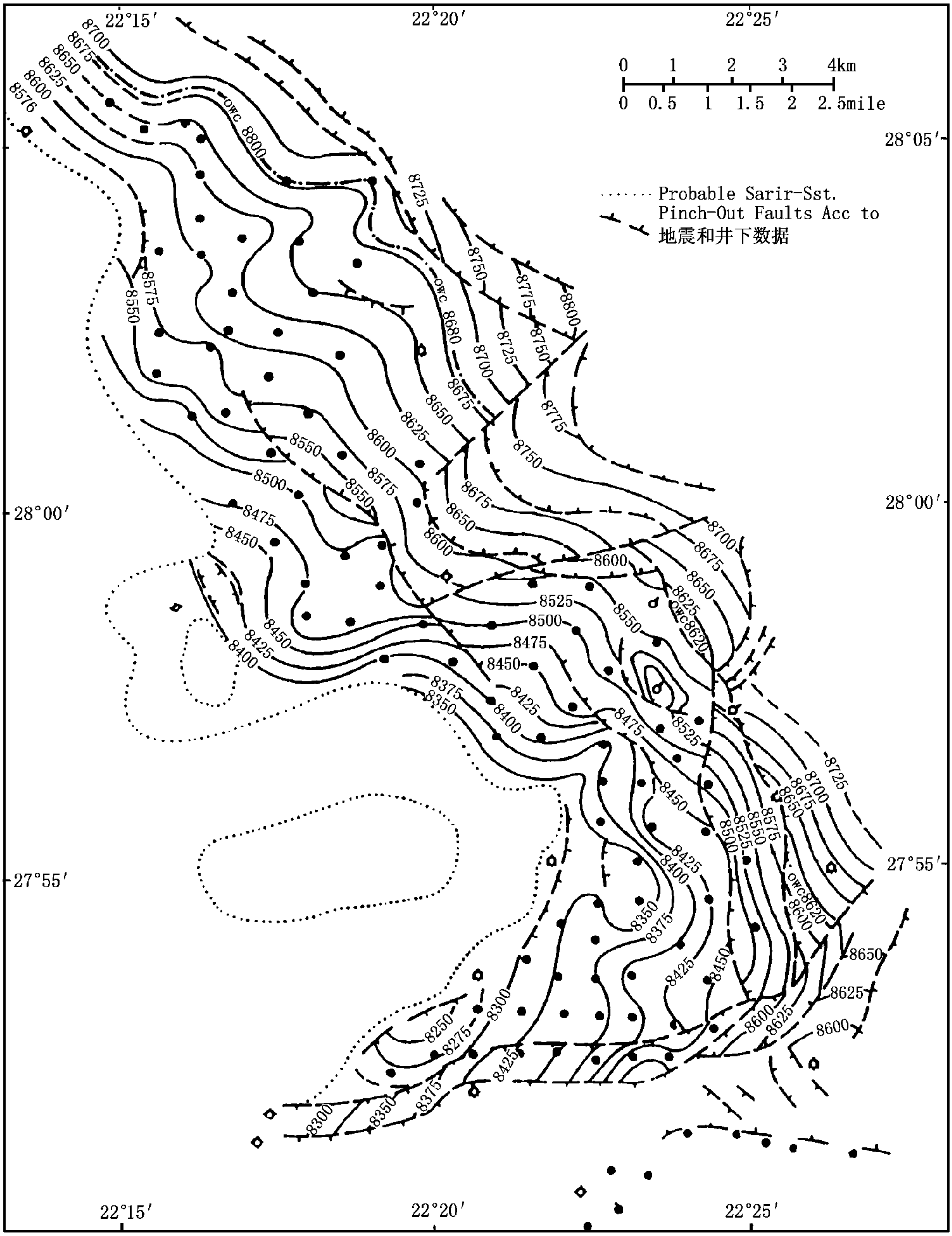


图 3—10—6　锡尔特盆地 Messla 巨型油田构造顶面图
（据 B. Koscec 等，1993）

6.1%和 2.3%。储集层为 Defa 组和上 Satal 组，构造是背斜或断背斜，盖层为 Beda 或 Khalifa 组泥岩。

（2）Beda 构造含油气组合：分布较广，可在 36 个油气田或发现中见到，油、气储量分别占全盆地的 5.5%和 0.5%。储集层为 Beda 组，发育于 Beda 台地和 Tagrifet 坳陷，构造

为背斜或断背斜，盖层为 Beda、Dahra 或 Khalifa 组页岩。

（3）Dahra 构造含油气组合：产出于 14 个油田或发现中，油、气储量分别占全盆地的 2.6%和 2.0%，Dahra 组是 Dahra 台地的主要储集层，构造为背斜和断背斜，盖层为 Khalifa 组页岩。

（4）Zelten 构造含油气组合：见于 13 个油田或发现中，油、气储量分别占全盆地的 6.3%和 6.2%。Jabal Zelten 群的 Zelten、Harash 组在 Zelten 台地及其以东地区形成重要储集层，在东部的对应层位为上 Sabil 组碳酸盐岩，它是一个次要构造圈闭。构造为背斜和断背斜，盖层为 Kheir 组泥岩。

（5）上 Sabil 地层含油气组合：产出于 15 个油气田或发现中，油、气储量分别占全盆地的 6.5%和 12.3%。此含油气组合分布于 Agedabia 坳陷的深部地区，界限非常清楚，是晚古新世生物礁的生长区。生物礁下伏为 Sheterat 组海相页岩，顶部和侧面为 Kheir 组泥岩封闭，形成地层—岩性圈闭。

（6）Beda 构造—地层含油气组合：仅见于 1 个油田，Beda 组储集层向背斜尖灭形成圈闭，为次要含油气组合。

4）始新统含油气组合

（1）Gir 构造含油气组合：产出于 30 个油气田或发现中，油、气储量分别占全盆地的 2%和 1%。构造为背斜和断背斜，储集层位于 Facha 白云段和 Hon 蒸发岩段，盖层为其上覆直接盖层。

（2）Gialo 构造含油气组合：见于 11 个油气田或发现中，油、气储量分别占全盆地的 7.2%和 6.5%，储集层为 Gialo 石灰岩段和 El Giza 段。构造为背斜和断背斜，盖层为 Augila 群页岩。

（3）Augila 构造含油气组合：产出于 7 个油气田或发现，储量小，构造为背斜，盖层为 Arida 组页岩。

（4）含油气组合分布：Gir 含油气组合局限在盆地西部，而 Gialo 和 Augila 含油气组合则集中在盆地东部。一般而言，始新统仅在断层沟通上下地层或下伏地层缺乏盖层的地区才能成藏。

5）渐新统含油气组合

Arida 构造含油气组合：产出于 Gialo 凸起上的 2 个油田中，油、气储量分别占全盆地的 3.6%和 0.8%。储集层为浅海相砂岩，构造为背斜，盖层为 Diba 组页岩。

7. 含油气系统

锡尔特盆地的油气聚集可以从成因上归为 2 个含油气系统：上白垩统 Rakb 群含油气组合与古新统含油气组合。

1）上白垩统 *Rakb* 群含油气系统

主要烃源岩是 Sirte 组页岩，其次为 Rachmat 组。此烃源岩已向下伏基底、Gargaf 群和 Nubian 组储集层和上覆上白垩统、古新统、始新统和渐新统储集层提供了大量油气。上白垩统底部不整合作为此含油系统的油气产出部位，其影响是有限的。

该含油气系统地层范围是从 88.5 Ma（烃源岩沉积初）至现在，有效持续时间为晚渐新世至现今（或 29.3 Ma）。在不整合之下碎屑岩储集层发育，加之大断层的产生，有利于运移与聚集油气。浅水碳酸盐岩储集层发育于盆内凸起的边缘，尤其是古新统，由于其邻近坳陷生油气区，而易于捕获油气。

此含油气系统的各关键要素相互关系如下：

（1）油气生成：晚渐新世至今。

（2）圈闭形成：Hamaimat 和 Sarir 坳陷中少数圈闭形成于裂谷初期（晚侏罗世至早白垩世），而全盆地大多数圈闭则形成于主裂谷期（晚白垩世至晚始新世），晚渐新世的小型局部调整而形成渐新统圈闭。所有这些圈闭形成于生油高峰期之前，有利于捕获油气。

（3）最早封闭：上白垩统是其下各含油气组合的早期盖层，古新统下部是上白垩统各含油气组合的早期盖层，古新统含油气组合被其上的海进页岩所封盖，而始新统和渐新统含油气组合主要为组内盖层所封盖。

（4）油气保存：所有圈闭均形成于油气生成运移高峰期前，盆地地表无油气散逸的纪录，这些均说明盆地保存条件很好。

2）古新统含油气系统

该系统在 Tagrifet/Zella 和 Agedabia 等坳陷区有效，油气通过控盆断裂系统向上运移。渐新世晚期，油气才生成并向该系统运移，始新统圈闭有利。该系统持续时间为 29.3—0 Ma。

总的来看，锡尔特盆地含油气系统，特别是 Rakb 群含油气系统，受如下因素控制：坳陷区有广泛分布的烃源岩；主要构造圈闭形成于坳陷区烃源岩成熟期之后；每层均有良好储集层；发育区域性、地区性和局部盖层；盆地构造史相对简单。

三、油气勘探开发现状与效果

锡尔特盆地是全球前景最好的含油气盆地之一，自 1955 年利比亚颁布第一部石油法以来，该盆地也就成为进行油气勘探非常活跃的地区。

1. 勘探开发概况

1）陆上

锡尔特盆地的陆上油气勘探始于 1955 年，当时在盆地的陆上进行第 1 次地球物理勘查。1958 年，由外国石油公司钻了第 1 批初探井，结果发现了 3 个油田，其中 1 个为巨型油田，2 个为大油田。截至 1970 年，打新探井的数量增加很快，在此期间，共钻 719 口油田新探井，总共发现了 107 个油气田，其中 17 个为巨型油气田。尽管钻探的成功率比前 10 年低，但发现速率很高。1958—1960 年为 191.2×10^6 bbl（油当量）/口，1961—1970 年为 34.9×10^6 bbl（油当量）/口。20 世纪 70 年代和 80 年代勘探速度减慢，平均每年仅钻 19 口井，共发现 114 个含油圈闭，尽管成功率分别升高至 23.9%和 39.3%，但勘探效率则有所降低，为 12×10^6 bbl（油当量）/口。除发现 1 个巨型油气田（Messla）外，其他为大、中、小及较小型油气田。

1991—1994 年每年钻井 14 口，共发现 14 个含油气圈闭，其储量在（8～75）$\times10^6$ bbl（油当量）。截至 1995 年，共钻勘探井 1196 口，其中 237 口为发现井，共发现储量：油 $36\ 381\times10^6$ bbl（约 49.8×10^8 t），凝析油 14×10^6 bbl（192×10^4 t），气 $27\ 435\times10^8$ ft³（$7\ 764\times10^8$ m³）。

2）海上

地震勘探始于 1960 年，钻井始于 1963 年，尽管在海上开展勘探的资料不全，大约做了 12.6×10^4 km 的地震测线，共钻井 18 口，并由阿科公司发现 2 个气田，其储量共 $15\ 500\times10^8$ ft³（约 439×10^8 m³）。

锡尔特盆地是一个勘探成本较低的地区，盆地中地形平坦，大部分地区的海拔在 300 m

以下；且交通良好，除发达的铁路、公路网外，还有机场、码头；勘探目的层埋深不大，以中浅层为主，因此，钻井成本低。

据不完全资料分析，盆地过半原油和大量气已发现并开采。值得注意的是，该盆地产出的非伴生气数量很大。1960—1972 年期间钻了 500 多口生产井。1973 年至 1995 年 5 月间，在锡尔特盆地共钻 1 019 口生产井，其中油井 764 口，气井 14 口，注水井 34 口，干井 24 口，174 口井情况不详，辅助井 9 口。

截至 1994 年底，累计生产原油约 $20\ 000\times10^6$ bbl（约 27.4×10^8 t），天然气 9×10^{12} ft^3（$2\ 547\times10^8$ m^3）。

2. 勘探前景及风险

下一步勘探潜力分析是针对主要含油气组合进行的。尽管盆地广大区域具有许可证，且开放面积不是所希望的最有前景的区域，但钻井并未达到预计的密度。这一勘探现状，加之有三维地震资料，应用现代地震模拟技术，预计勘探前景良好。

1）上白垩统之下含油气组合

基底含油气组合：除台地区和已知产区外，尽管基底含油气组合因埋深太大而不宜作为勘探主要目标，但是其前景较为可观。就目前而言，只有埋深较浅的构造或复合目标具有经济勘探价值。

Gargaf 含油气组合：Amal 组勘探目标主要分布在盆地东部，它们受古隆起控制，多数构造已被钻探，所以其勘探前景不太好。而 Hofra 组勘探目标，特别是位于盆地内台地及其边缘的目标具有很好勘探潜力。Marada 坳陷、Jahama 台地和 Agedabia 坳陷北部地区现是开放区，其间存在未钻探的 Hofra 组勘探目标。

Nubian 含油气组合：Nubian 组构造型和复合型勘探层仍具良好勘探前景，特别是盆地东部已知产区，发育许多含油气组合，未来勘探将集中在上倾尖灭圈闭。

研究证实，Sarir 坳陷中存在东西向右行走滑断层。详细的地震勘探表明，在雁行式断层之间的倾斜断块上存在 Nubian 组砂岩尖灭，这一认识导致了 VV1－65 油田的发现。预计在 Sarir 和 Hamaimat 槽谷可寻找类似的油田。

2）上白垩统含油气组合

上白垩统含油气组合主要分布在凸起区，它是该盆地最有效的含油气组合。Kalash 组及其相应层位在相变带具有勘探潜力，通过广泛的地质、地球物理资料研究，还可能找到其他区域。在 Zelten 台地南部，Waha 组石灰岩储集层研究正在进行，此地区已有一些开放区块。

Bahi 组砂岩的勘探前景相对较好，特别是盆地中、西部台地区。

在同沉积断层下降盘，可能存在一些扇体，组合成一个有前景的含油气组合。

3）古新统含油气组合

估计古新统构造型和地层型含油气组合均具有勘探前景。在生物礁及其相关相带中的上 Sabil 地层型含油气组合现正在 Agedabia 坳陷进行大量勘探，近期已发现 2 个油田：A1－NC163 井测试获油 18 876bbl/d，B1－NC171 井测试获油 2 200bbl/d。

在台地区，Dahra、Beda 和 Zelten 各组的构造型含油气组合均有良好的勘探前景。Dahra 台地北部有一大片开发区，而在 Salat 油田和 Waha 油田之间的开放区，Beda 组含油气组合是有前景的。

在 Zella/Tagrifet 坳陷中，Ghani Zenad 和 Sabah 等油田存在 Beda 储集层，证明在此广

阔而钻探较少的地区寻找构造和岩性目标前景良好。

4）始新统含油气组合

在盆地部分地区，始新统缺乏构造，故其勘探潜力不大。

在 Hon 地堑西部坳陷的 DorAl Abid、Tagrifet、Zella、Tumayn 等地区，Gir 组，特别是其中 Facha 白云岩段寻找构造和地层油气藏的潜力很大。资料显示，基底断层与遥感图像线性体具有良好的一致性，而 Zella/Tagrifet 地区多数油田存在大量这种线性体。进一步分析表明，本区 7 个油田与地貌异常一致，推测 5 个地貌异常区可能找到油气。

5）渐新统含油气组合

渐新统也缺乏构造，勘探前景小，估计在 Agedabia 坳陷的北部深凹区渐新统有一定勘探潜力。

6）深层勘探目标

归纳起来，盆地内大多数大构造现已钻探，将来的勘探目标可能主要是隐蔽的复合型、地层型圈闭。尚有较大勘探潜力的深层目标有：

（1）盆地东南部 Nubian 组地层尖灭型圈闭；

（2）Tagrifet/Zella 坳陷区域 Nubian 组含油气组合，这些区域在第三系发现油田，但许多井都没钻达白垩系；

（3）Agedabia 深坳陷翼部的未钻目标——寻找天然气；

（4）盆内凸起西翼白垩系扇体；

（5）台地区古新统构造、地层圈闭和西部坳陷区 Beda 组构造、地层圈闭；

（6）西部坳陷中 Facha 白云岩段构造圈闭。

3. 油气储量及丰度

截至 1995 年 8 月，对锡尔特盆地现有油气田和发现的统计，最终可采储量：油 36 381 $\times 10^6$ bbl，凝析油 14 $\times 10^6$ bbl，气 289 850 $\times 10^8$ ft^3。其油气丰度见表 3－10－3。

表 3－10－3　锡尔特盆地油气丰度（1995）

类　型	油和凝析油	天然气	总　量
油气丰度	76 990bbl/km^2	61.3 $\times 10^6$ ft^3/km^2	87 209bbl（油当量）/km^2

四、深层油气田（藏）类型、分布及形成机制

1. 主要油气藏类型

锡尔特盆地的油气藏类型丰富多彩，主要为构造型和构造—不整合型圈闭，其次为构造—地层型和构造—地层—不整合型；单纯的地层型并不多见，主要与生物礁有关。就深层油气田而言，以构造—不整合圈闭为主，并常形成巨型油气田，通常砂岩沿基底凸起上倾尖灭形成圈闭。浅层油气藏主要以构造圈闭为主。

2. 深层油气田分布

从该盆地油气田的分布来看，主要受大断裂带的控制。锡尔特盆地有 32 个深层油气田或发现。主要的油气田或发现见表 3－10－4。

1）*Bu Attifel*（100－A）油气和凝析油田

发现于 1968 年 3 月。位于陆上，长约 17 km，宽约 4 km，面积约 60 km^2。目前处于提高采收率生产阶段。最终可采储量：原油 1 600 $\times 10^6$ bbl，天然气 15 000 $\times 10^8$ ft^3。截至 1995

年累计产油 1 260.084×10⁶ bbl，截至 1982 年累计产气 5 600×10⁸ ft³，截至 1994 年累计产凝析油 30.374×10⁶ bbl。

表 3－10－4　锡尔特盆地深层油气田综合特征

油气田	深度（m）	烃类类型	海陆位置	总可采储量（油当量）（10^6 bbl）	储集层地层	储集层岩性	含油气组合
097－G－002	3 658	油	陆上	40.00	Gargaf 群	砂岩	Gargaf 构造—不整合
Tuama（097－C）	4 267	油	陆上	50.00	Nubian 组	砂岩	Nubian 地层—构造—不整合
NC098－F－002A	4 420	油/天然气	陆上	21.67	Nubian 组	砂岩	Nubian 构造—不整合
Jakhira（096－A）	3 597	油	陆上	50.00	Nubian 组	砂岩	Nubian 构造—不整合
As Sarah（096－B）	3 627	油/天然气	陆上	68.33	Nubian 组	砂岩	Nubian 构造—不整合
082－UU	4 546	油/天然气	陆上	301.67	上 Nubian 砂岩	砂岩	Nubian 构造—不整合
Bu Attifel（100－A）	3 901	油/天然气/凝析油	陆上	1 950.00	上 Nubian 砂岩	砂岩	Nubian 构造—不整合
NC084A－B－001	3 810	油	陆上	50.00	Nubian 组	砂岩	Nubian 构造—不整合
NC098－A－001	3 962	油/天然气	陆上	193.33	上 Nubian 砂岩	砂岩	Nubian 构造—不整合
082－OO－001	3 530	油/天然气	陆上	58.33	上 Nubian 砂岩	砂岩	Nubian 构造—不整合
NC098－F－002A	4 420	油/天然气	陆上	21.67	Nubian 组	砂岩	Nubian 构造—不整合
082－XX－001	4 572	油	陆上	75.00	Nubian 组	砂岩	Nubian 构造—不整合
As Sarah（096－B）	3 627	油/天然气	陆上	68.33	Nubian 组	砂岩	Nubian 构造—不整合

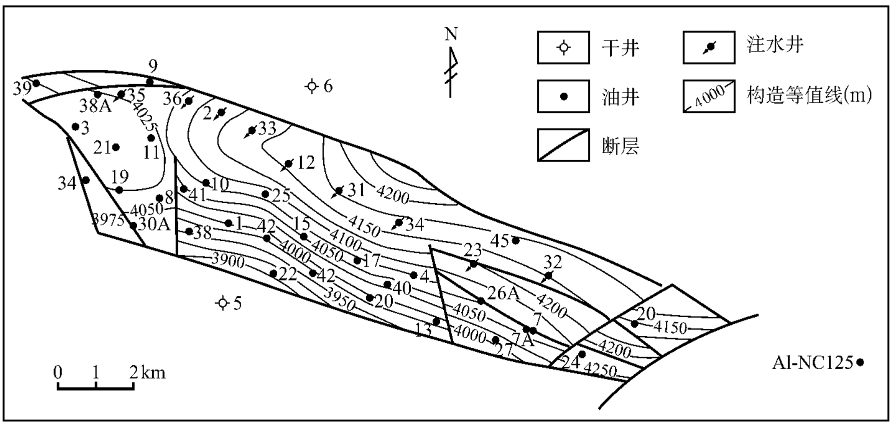


图 3－10－7　锡尔特盆地 Bu Attifel（100－A）油田构造等值线图
（据 Safsaf，Michelotti，1985；Agip，1991）

主要勘探方法是地震截至 1994 年 3 月共钻 62 口井，其中油井 42 口，已投入生产井 28 口。

主要的储集层为下白垩统 Nubian 组上 Nubian 段辫状、曲流河石英砂岩与页岩、粘土

岩和粉砂岩互层，东部出现火山岩。共有2套油藏。上部层的埋深3 901 m（油水界面4 375 m），总厚度平均172.5～308.5 m，有效厚度平均75～250.2 m，水平渗透率为（5～1 000）$\times10^{-3}$ μm^2。下部层深度为4 237 m。主要的烃源岩为上白垩统Sirte Shale组页岩。Sirte Shale组平均总有机碳含量2%，埋深2 591 m以下开始生油。运移自晚始新世开始，渐新世后为运移高峰，油气垂向和横向运移到相邻的构造中。主要的盖层为上白垩统Rakb群页岩和石灰岩。圈闭为一东西走向的垒块，长约17 km，向北倾斜，倾角约5°，四周被断层封闭。西部的断层是地堑的边界断层，属Nubian构造—不整合油气藏。

2）082—*UU* 油气田

发现于1990年4月，位于陆上，目前处于生产状态。截至1995年累计产油596.75×10^6 bbl。勘探方法为地震。截至1993年11月共钻5口井，其中3口为油井，1口为干井。

主要的储集层为下白垩统Nubian组上Nubian湖相砂岩，埋深4546 m，总厚度平均221 m。孔隙度平均15%，渗透率平均350×10^{-3} μm^2。主要的烃源岩为上白垩统Rakb群页岩。主要的盖层为上白垩统Rakb群页岩。圈闭类型为构造圈闭，属Nubian构造—不整合油气藏。

五、小结

（1）锡尔特盆地不仅是非洲的一个典型新生代裂谷盆地，而且也是世界上最有远景的含油气盆地之一。其基底由前寒武系花岗岩、其他侵入岩、火山岩和变质岩组成。

（2）该盆地自同生裂谷结束后，即后裂谷阶段，盆地是以单一的构造单元沉降。这种沉降是以横切早期的断块构造大规模简单下拗的形式出现。渐新世至现代的后裂谷阶段沉降的沉积物以浅海碎屑岩和碳酸盐岩为代表。锡尔特盆地明显向东倾斜，地表露头的时代由西部的始新统向东部变为第四系。

（3）主要烃源岩由晚白垩世海相Sirte页岩层组成，该页岩在全盆地广泛分布，它是形成深层油气田的主要油气来源。

（4）上白垩统（相当于Rakb群）的广海相页岩和局部的蒸发岩是基底和前上白垩统（Gargaf群和Nubian组）储集层的地区性盖层。

（5）深层油气藏类型均为构造—不整合型，油气并举，以油为主。其勘探方法仍以地震勘探为主，隐蔽的复合型圈闭是今后深层勘探的重要目标，尤其是要注意裂谷前期的古老岩层。当生油凹陷附近存在断到基底的大断层时，更应注重基底面附近的圈闭。

参 考 文 献

Abushagur S A. 1987. Cyclic transgressive and regressive sequences and their association with hydrocarbons—Ghani Field. In：Geology of Libya，Vol. Ⅴ

Al Fasatwi Y A，Van Dijk P M. 1989. Lineament and geomorphic analysis of remote sensing data as an aid to hydrocarbon exploration，Sirte Basin，Libya. In：Anonymous (Ed)，Proceedings of the Seventh thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology；Methods，Integration，Solutions，299—313

Amiri Garoussi K. 1988. Eocene spherical dolomite from the Western Sirte Basin，Libya. Sedimentology，35（4），577—585

Anketell J M，Kumati S M. 1988. Structural development of the western margins of the Sirte Basin. In：Anonymous（Ed），Mediterranean Basins Conference and Exhibition. A-

merican Association of Petroleum Geologists Bulletin, **72** (**8**), **984**

Anonymous. **1986**. Giant oilfields of the world by oil in place. Oil and Gas Journal, **4**, **112—114**

Butt A A. **1986**. Remarks on the upper cretaceous biostratigraphy of Libya. ACTA Mineralogica Pakistanica, **2**, **115—118**

Domaci L. **1988**. Duricrust in the Jabal Zaltan Area, Libya. ACTA Universitatis Caroline, Geology, **4**, **343—354**

El Ansari A A. **1984**. Reservoir mechanics of Lidam dolomite, Masrab oil field, Sirte Basin. California State University, Master'S thesis, **244**

Gumati Y D. **1986**. Crustal extension, subsidence, and thermal history of the Sirte Basin, Libya. Occasional Publication Earth Sciences and Resources Institute, University of South Carolina, **3**, **207**

Gumati Y, Schamel S, Nairn A E M, *et al*. **1986**. Crustal rifting and subsidence of Sirte Basin, Libya; A Mature Hydrocarbon Province. In: Anonymous (Ed), American Association of Petroleum Geologists Annual Convention with Divisions, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, **69** (**2**), **260**

Ibrahim M W. **1987**. Petroleum geology of the Sirte group sandstones, Eastern Sirte Basin, Libya. In: Geology of Libya, Vol Ⅷ. (Eds) Salem, M. J. & Busrewil, M. T. , Academic Press, London

Petroconsultants. **1985**. Africa exploration opportunities—Sirte Basin. Petroconsultants SA, Geneva

Rossi M, Tonna M, Larbash M. **1987**. Latest Jurassic—Early Cretaceous in the subsurface of the eastern Sirte Basin. Geology of Libya, Vol. Ⅵ

Petranek J, Zikmund J. **1987**. Celestite in Eocene formations of the Sirte Basin (Libya). Vestnik Ustredniho Ustavu Geologickeho (Bulletin of the Geological Survey, Prague), **62** (**5**), **257—269**

Sahagian D L. **1993**. Structural evolution of African Basins: stratigraphic synthesis. Basin Research, **5** (**1**), **41～54**

Sghair A M, El Alami M A. **1992**. Depositional environment and reservoir characteristic of the maragh formation in the northeastern Sirte Basin, Libya. In: Eynon, G. (Ed). Annual Meeting Abstracts American Association of Petroleum Geologists and Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, **1992**, **117**

Tmalla A F A. **1992**. Stratigraphic position of the Cretaceous—Tertiary boundary in the northern Sirt Basin, Libya. Marine and Petroleum Geology, **9** (**5**), **542—552**

Van Der Meer F, Cloetingh S. **1993**. Late Cretaceous and Tertiary subsidence history of the Sirte Basin (Libya); An example of the use of backtripping analysis. In: Nossin, J. J. & Van Zuidam, R. A. (Eds), Earth Sciences and the Environment; An International Workshop for Executives and Policy Markers in the Field of Earth Resources and the Environment, ITC Journal (Bulletin De L'ITC), **1993** (**1**), **68—76**

第十一节　红海裂谷盆地

红海（Red Sea）裂谷位于东北非（埃及、苏丹、厄立特里亚、埃塞俄比亚）和阿拉伯（沙特阿拉伯和也门）前寒武系基底露头之间。长（北北西）1 600km，宽 200～360km，北部边界以亚喀巴湾和苏伊士湾为标志，南部界限是巴布曼达布海峡。红海轴向槽地一般深 1 000m，南部大部分被洋壳覆盖，而北部可能大部为陆相。该盆地类型属克莱曼分类的ⅢA型大陆裂谷盆地（图 3—11—1）。

红海局部地区极深，中央轴沟水深超过 2 000m。

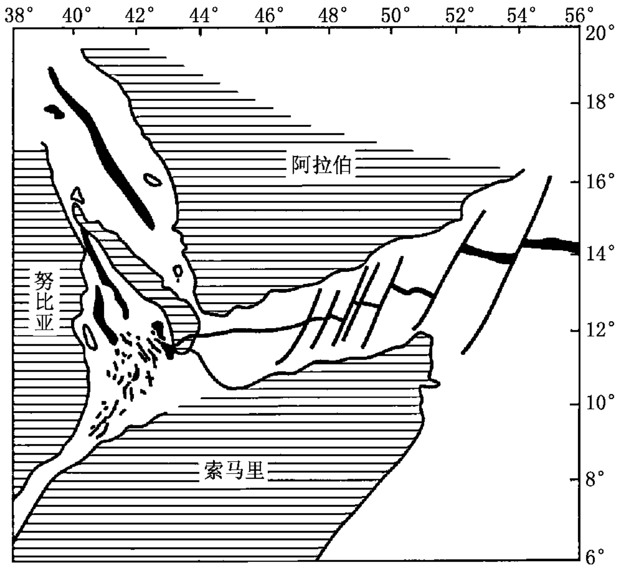


图 3—11—1　红海裂谷地理位置图

（据陈发景，1992；转引陆克政，2001）

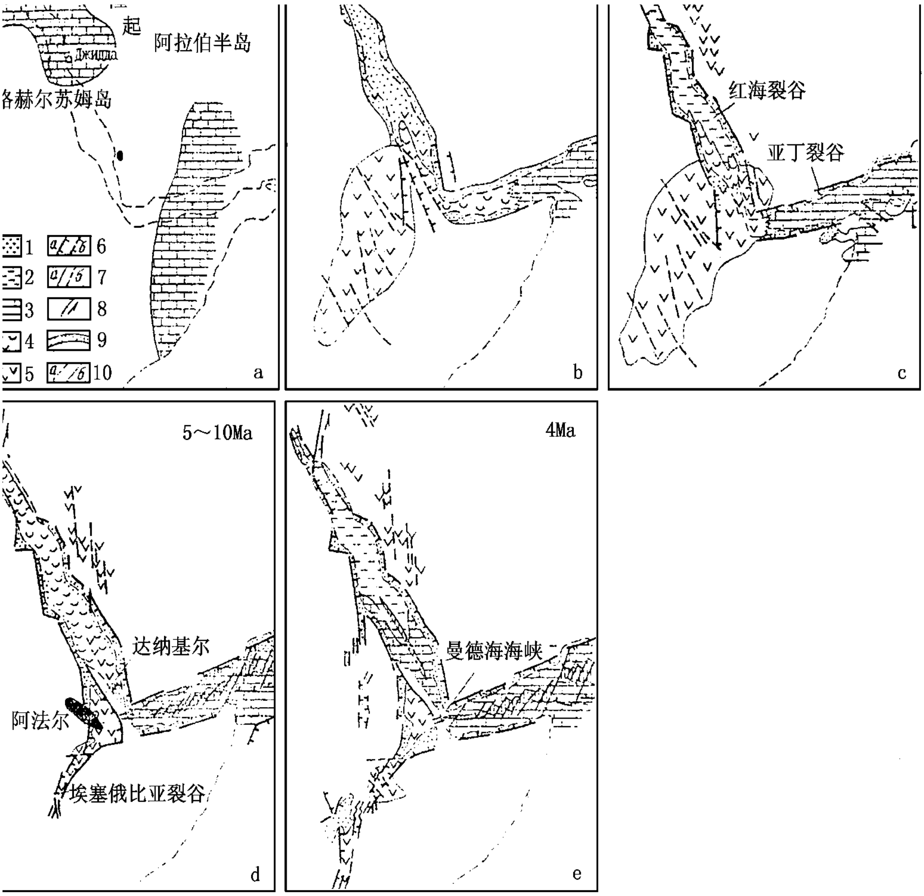


图 3－11－2　**红海古地质演化图**（**引自** B. Г. **卡兹明**，1987）

一、区域地质

1. 盆地的演化

红海裂谷盆地是由阿拉伯与非洲分离形成的。晚始新世时期发生拱起和抬升，其后在渐新世和早中新世产生拉张作用、地壳变薄和裂谷作用，随后在最晚的中新世至上新世时出现海底扩张。

在古生代和几乎整个中生代时期，阿拉伯—努比亚地区曾是冲蚀区。

在晚白垩世，该地盾的西北部曾被浅海所覆盖，浅海沉积物在红海裂谷内的侵蚀过程中保存了下来（**图** 3－11－2a），**在沙特阿拉伯的吉达附近和马格赫尔苏姆岛、苏丹沿岸地区均有发现。**

红海裂谷的产生时间是始新世末—渐新世初（**图** 3－11－2b）。**在此时期形成了初始裂谷洼地，同时发生了玄武岩火山作用。红海地堑南部的发育是独特的。在埃塞俄比亚和也门的观察结果也表明，约在** 40～35Ma **年以前，红海裂谷两侧广阔的邻区经受了强烈的拉张，形成了西北向的地垒—地堑构造裂缝的张开，伴随着强烈的玄武岩火山作用。在红海南部，**

此时期产生了盆地，在轴部地带开始沉积含有玄武岩流的蒸发岩。

红海裂谷发育中的重大转折发生在中新世初期，约 22Ma 前（图 3—11—2c）。在这时期记录到裂谷底的沉降，很显然，随后是短期的拉张幕。该拉张幕可从裂谷张开有关玄武岩火山喷发间接得到证实。沉降作用伴随着通过苏伊士地堑的海侵。红海裂谷盆地与印度洋的隔离可能是火山横堤在原始曼德海峡区的形成造成的。红海的中新世沉积以一套地中海型微体动物和完全缺失印度洋种属为特征。重要的是在初始裂谷洼地底部沉降的同时，其翼部发生抬升，此地沉积的早中新世粗粒碎屑沉积就是佐证。在埃塞俄比亚沿岸，这种沉积物多为加里建造，由玄武岩和火山碎屑岩组成，它们朝地堑轴部方向逐渐被细粒沉积物和蒸发岩所代替。这可以说明在该时期不太深的初始裂谷盆地转变成了被相当高的构造阶地（陆源物质搬运原地）隔开的地堑。

在中新世初期拉张脉动之后出现的是构造平静期（20—15Ma），其标志为在红海地区火山活动几乎完全停止了。

红海裂谷张开的新时期始于 15Ma 前，在 10Ma 前一段时期扩张速度大大加快（图 3—11—2d）。对埃塞俄比亚裂谷和阿法尔裂谷的地质资料的分析表明，这两个构造恰好是在 15—10Ma 前的裂谷形成时期形成的。在此之前（40—15Ma 之前），两个岩石圈板块（非洲板块和阿拉伯板块）之间发生了扩张，直到 10—15Ma 前才产生了三板块（分离出了索马里板块）系统。

在晚中新世早—中期期间，红海裂谷中充填了厚达 1.5～2m 的浅海相沉积物（砂质泥岩和泥质灰岩）。在盆地中部（苏丹陆架）的某些高程上出现了蒸发岩。再往南，在达赫拉克群岛地区看来存在过中新世期间几乎没有中断过的盐沉积的一些地段。此地的 Amber—1 号钻孔在进入经受了渐新世（?）弱热液变质作用（可能与该时期的岩浆活动有关）的泥岩之前，钻穿了具有较少泥岩夹层的厚 3 650m 左右的盐层。盐层之上为上新世的碳酸盐沉积，因此，它既可包含渐新世的蒸发岩，也可包含中新世的蒸发岩。

在晚中新世末，地中海盆地和红海盆地与大洋隔绝，导致美塞尼盐系的沉积（在红海厚达 1 000m 以上）。

中—晚中新世是得到沉积补偿的地堑沉降时期，沉降速度（或不考虑蒸发岩的沉降速度）为 0.1～0.15mm/a。在地堑的北部和中部，在中—晚中新世的大部分时间内在过浅海盆，而在远离苏伊士海峡的南部地区产生了周期性的隔离□湖，并发生了盐沉积。

红海裂谷南部扩张的开始，曼德海峡的张开，红海盆地中正常海洋条件的恢复，均与 5Ma 前的裂谷作用的脉动有关。

R. W. Girdler 等（1980）在分析红海裂谷的磁异常，包括其西部（轴带之外）小幅度的线性磁异常之后，得出了关于红海在 30—15Ma 前和 5—0Ma 前为两个扩张期，在这两期之间有一间歇期的结论。

根据上述资料，渐新世的拉张并不大，第一批地堑产生于早中新世，它在结构上与东非的一些现代地堑不太可能有重大差别。早中新世（20—15Ma）为平静期，此后在某些方面 5Ma 前恢复扩张。R. W. Girdler 等（1980）解释为扩张的线性磁异常，往往与陆壳拉张过程中侵入玄武岩墙群有关，结果形成了“阿法尔”型玄武岩壳，而拉张过程被称为“发散性拉张”。

总之，红海裂谷形成并没有发生背斜隆起的抬升。因此裂谷形成几乎与地幔上隆或刺穿没有关系。裂谷带的发育划分为 4 个阶段：初始裂谷洼地形成（约 40—35Ma）；地堑形成

(22Ma)；大陆岩石圈剧烈拉张，“阿尔法”型陆壳形成（15—5Ma)；扩张、洋壳形成（5—0Ma)。各构造演化阶段在沉积史中均得到清晰的反映。与第一阶段有关的是印度洋海水向初始裂谷洼地的短时间侵进，以及渐新世盐系的沉积。与第二个阶段相应的是从地中海盆地方向通过此时形成的苏伊士湾地堑的海侵。与第三个阶段有关的裂谷的沉降和巨厚浅海相陆源沉积物和蒸发岩的沉积。最后，第四阶段是以达纳基乐横堤破裂、印度洋海水通过曼德海峡侵入、生物成因碳酸盐岩沉积开始为标志。

2. 地层简介

晚渐新世—早中新世（距今30—20Ma）陆源碎屑在广泛分布的山间盆地中沉积，舒梅西（Shumaysi）组在沙特阿拉伯包含了可能是渐新统的砾状砂岩。晚渐新统艾扬纳赫（Ayyanah）组的底砾岩和砂岩也可以分出。这两个地层单元没有一个是分布特别广泛或者特别厚的。中或晚中新世的粗粒复矿物碎屑砾岩同样可以分出Bathan组，其厚度较薄。然而，若是许多地区25～30Ma以来已经上升（除西部发育裂谷外)，沉积物是不存在的。在这种情况下，在早期红海裂谷盆地中，中新世蒸发岩之下和内部沉积了厚层碎屑物质。结合地震反射和分析钻井资料表明，红海斜坡和沿岸平原有4～6km厚沉积物存在。而这个由3km中新世蒸发岩及大量的碎屑物质夹层组成的剖面，已被大量的资料包括厚的早中新统砾岩和砂岩所证实。由裂变径迹揭示的晚渐新世后侵蚀了数千米，可相当于该时期的主要沉积物的沉降幅度。

Adigrat砂岩是以Adigrat镇而命名的（Blanford，1870)。在厄立特里亚红海地区，它出露于Danakil阿尔卑斯山脉并沿着Danakil坳陷的西部边缘分布，其最大厚度可达650～680m（Beyth，1972；Merla，1979)，20世纪60年代由埃塞俄比亚地质学家在Danakil阿尔卑斯山脉测得的剖面显示厚度为1 605m。Adigrat砂岩不整合于基岩上，或在少许地方不整合地上覆于古生代Tigrai冰川上。Adigrat砂岩由厚至薄层状的浅色或褐色—红色的石英砂屑岩组成，石英砂屑岩通常交错成层。颗粒大小的范围从非常细粒的砂级到粗粒的砂级，或局部为中砾至粗砾的砾岩。石英颗粒是主要的碎屑组分，带有少量的细粒绢云母和粘土；胶结物为硅石或方解石；一般砂岩富含氧化铁。Adigrat砂岩与地层内的不整合局部相关。通常具有良好的孔隙性，但局部由于被成岩硅石和碳酸盐胶结物吸留，砂岩会非常紧密。在一些地方，该孔隙度的降低被方解石胶结物的淋滤作用所补偿，造成了次生孔隙的发育。Adigrat砂岩的时代在埃塞俄比亚和厄立特里亚难以限定；它跨越的可能时代范围为三叠纪至中侏罗世（Bathonian：Robertson等，1991)。在索马里至东南部，Adigrat砂岩的时代为早—中侏罗世（Bosellini，1989；Buscaglione等，1987)。据认为，Adigrat砂岩的沉积环境为大陆河流—三角洲至浅海相环境。

Antalo石灰岩是Adailo统中部的碳酸盐层序，它相当于埃塞俄比亚Ogaden盆地的上Hamanlei石灰岩。在厄立特里亚红海地区，Antalo石灰岩主要出露于Danakil阿尔卑斯山脉，它在那里的平均厚度为300～900m（但局部可达2 400m以上)。它与下伏的Adigrat砂岩不整合和渐变接触。Antalo石灰岩是一个混合的硅屑—碳酸盐单元，在与下伏Adigrat砂岩的接触面附近一般由钙质砂岩、页岩和泥灰岩组成。往上，其中部分由含化石的薄层状灰色微晶灰岩及少量页岩层构成。往顶部，它进入薄层状的淡灰至黄色的微晶灰岩，并带有淡红—褐色的有规律间隔的钙质砂岩层段。Antalo石灰岩的时代范围为巴通期至提通期，其沉积环境盆地部分为碳酸盐陆架环境，而中部和上部为浅海相至受限□湘/潮上环境，在Danakil阿尔卑斯山脉可能存在较深的水相。

二、大地热流

地热梯度受下地壳侵入岩的影响。地壳底部的厚岩床至中、上地壳的远源热传导测定，可以通过侵入深度（取 35km 作为地壳底部深度）处瞬时温度增加的时控衰变来进行，则可推测初始地面热流值为 $75mW/m^2$。红海地区稳定前寒武系地盾的大地热流值是 40～$60mW/m^2$，活动火山岩区的大地热流值介于 90～$110mW/m^2$ 之间。

三、火山活动

在红海北部和中部，火山活动开始于早中新世。在沙特阿拉伯，渐新世的岩流最老时 32Ma，基性深成岩的 K—Ar 冷却年龄老至 30Ma。在也门，德拉布统的玄武岩广泛喷发于距今 30—22.1Ma 间。在埃塞俄比亚，火山活动大致在距今 60—45Ma 开始。这些资料表明，邻近红海一些地区的基性火山活动先于拉张作用数百万年。

在一个地区，最早的镁铁质火山活动的范围和时间可用来推断地幔上涌开始的最小年龄值和区域走向。本区首先可见一条清晰的向北的镁铁质新生代火山活动带，它由北北西走向的红海分叉而来。第二，火山活动的总量从最多的阿费尔（Afar）地区向北减少，表明软流圈上涌在阿费尔地区较强烈，向北减弱，或者火山活动在南部时间较长，允许较大的火山岩聚积空间。第三，最早的新生代火山活动，在一定地区内也是向北减小（年轻）的，从埃塞俄比亚北部约 45Ma，到也门和沙特阿拉伯西部中心为 30Ma，再至西奈约 20～25Ma。火山活动向北迁移，意味着上涌软流圈向北迁移，其迁移速度明显比非洲板块向北漂移的速度快。据火山岩的岩龄趋势推断的迁移速度大致与裂谷向北迁移的速度相同，表明了上涌软流圈与裂谷作用的关系。

红海地区第三纪火山活动和隆起具明显的不对称性，这时的火山活动和隆起只见于沙特阿拉伯海岸线以东大致 100～300km 或现在裂谷轴线以东 200～400km，这是红海东侧的特征；在红海西侧的埃及和苏丹火山活动实际上是不存在的。

四、含油气性

1. 烃源岩

1）北部地区

在红海北部，生油岩对比表明在 Burqan 发现的油气可能来源于前蒸发岩 Maqan 和 Burqan 单元中的层段。Maqan 组不同性质薄页岩和碳酸盐岩的纯厚度可能有 20～30m，其性质属于生成混合油气和倾向于生油。

北部区域 Maqan 组的平均 *TOC* 为 1.71%（0.03%～14%）。Burqan 组包含富有机质页岩，其厚度可超过 100m，有机质丰度中等至好，性质属于生成混合油气到倾向于生气。Burqan 组的平均 *TOC* 为 1.29%（0.12%～4.73%）。在 Suakin 1 井凝析油和 BashayerlA 井干气发现中，天然气可能来源于 Zeit/Ghawwas 组沉积同期地层的下部。Suakin 1 井的凝析油可能源于下伏 Dongunak 组蒸发岩中的页岩。在苏丹红海几口井中记录到黑色石油显示，并在 Barqan 1 井获得重大的凝析油发现。

在埃及和沙特阿拉伯，已知晚白垩世至古新世含沥青泥灰岩中存在前裂谷烃源岩。在晚白垩世磷灰岩中也存在高质量黑页岩。油页岩与 Duwi 组磷灰岩、森诺阶富有机质页岩、Dakhla 组泥灰岩相伴生，*TOC* 值为 0.7%～2.9%。在坎佩尼期—麦斯特里希特期海侵全部结束的海退期间，沉积剖面中有极佳的倾向生油的烃源岩存在。在盆地的埃及部分，良好的后裂谷倾向生油的烃源岩含高的 *TOC* 值，已证实该烃源岩位于 Hurghada 层下部的 Wardan 组（上新统层序）中。虽然除南部外在翼部它们可能不成熟，但是可能存在于盆地内部底辟

低部位中。

2）南部地区

在红海南部，根据露头已知 Agula 页岩是晚侏罗世前裂谷烃源岩，有较高 *TOC* 值。在也门，潜在的前裂谷烃源岩是为 Tihama 边缘的 Kohlom 组的腐殖质页岩。据说，在也门中部高原 Amran 组含有黑色泥灰岩和页岩。

同裂谷烃源岩由边缘倾向于生气到倾向于生油，但通常同裂谷烃源岩既没有足够的厚度又不能生成和排出大量的石油。在埃及部分，下中新统 Rudeis 组有好的烃源岩潜力，可是除边缘部位外，再向南其性质变成中等到差。在埃及下中新统和中中新统的 Balayim 和 Kareem 组中，盐前有良好的潜力。在红海中南部，除边缘部位和 Bab al Mandab 附近最南边外，它们可能已过成熟。

在 Erilrea 的 Habab 组顶部也发现同裂谷潜在的烃源岩，*TOC* 值高，属Ⅰ型干酪根。Amber 组中的页状碳质层段含Ⅰ型干酪根。在也门，前蒸发岩中的黑色页岩发现在 Kaghib l 井（*TOC*＝1％）。蒸发岩组地层中夹有含沥青黑色页岩，含 1.3％～2.9％的腐泥质和腐殖质。据报道，在 Meethag l 井的主要蒸发岩组中的泥岩为过成熟的烃源岩，油显示主要出现在 1302m。在苏丹，Maghersum 1 井可能为上侏罗统海相剖面中含 *TOC* 高达 10％的薄页岩。

中到上中新统 Dongunab 组蒸发岩含广泛分布的区域性薄层页岩。它们在沿岸区域成熟早，不过如果它们发育在近海深水区，则很可能成熟晚。Zeit 组厚度不等（最大厚度与三角洲有影响的区域吻合），薄的页岩层可能有重要的天然气潜力。

2. 储集层

已证明红海裂谷盆地的储集层位于 Barqan Midyan 和 C1 发现中（下—中中新统），以及位于 Bashayer 1A Durwara 2 和 Suakin 发现的盐内（上中新统）中。

Barqan Midyan 发现的主要储集层是 Maqan 和 Burqan 组。在 Burqan 组中，储集层由深海相砂岩组成，其孔隙特征尚不清楚。Midyan 油田的 Maqan 储集层是深海陆架相、白云石质骸晶泥粒灰岩与薄层骸晶粒泥状灰岩。该单元总厚 26～132m，平均纯厚度 18m。孔隙度是原生粒间孔隙，约 15％～20％，平均渗透率 $10\times10^{-3}\mu m^2$。

在 Suakin、Bashayer lA 和 Durwara 2 发现中已找到上中新统盐内储集层，它是由白云石质砂岩和硬石膏砂岩组成。Suakin 储集层总厚度 9～11m，孔隙度 15％～25％，渗透率（5～20）$\times10^{-3}\mu m^2$。在 Bashayer lA 发现中该层厚度为 6m。

在白垩系 Amba Aradom 砂岩、三叠系/侏罗系 Adigrat 砂岩及可能在上侏罗统碳酸盐岩（破碎和（或）白云岩化的）中的砂岩层序被推荐为重要的储集层目标。第三系（上新统—中新统）砂岩相作为潜在的二次目标。在红海南部地区以前的钻井没有穿透远景的中生代储集层层序，但露头观测表明，Adigrat 和 Amba Aradom 砂岩中的厚层、分选良好砂岩中孔隙度保存良好。

3. 盖层

红海裂谷盆地最重要的区域盖层是晚中新世蒸发岩、盐体、泥岩以及 Zeit 组和盐上组（相当于 Gharib 组）的互层状硬石膏。

在 Barqan 和 Midyan 发现中的盖层为中中新统 Mansiyah 组，它由盐岩和硬石膏组成。

另外，由同裂谷和后裂谷层序提供的已证明和尚未证明发生相变的主要盖层基本上是组内形成的页岩或局部蒸发岩。

4. 含油气组合

迄今在红海裂谷盆地已识别出 2 套油气成藏组合。

1）下—中中新统构造油气成藏组合

其储量为 8 870×10^4t 油当量，估计占该盆地发现的可采储量的 71%。储集层一般是时代相同的外蒸发岩层段，包括沙特阿拉伯发现中 Maqiia、Barqan 和 Tayran 群以及厄立特里亚的上 Habab 组。油气圈闭是由断裂背斜或地垒构成的。这些构造在地震上不难识别。然而，任何潜力较小的油气聚集由于上覆盐岩而难于描述。该油气成藏组合拥有盆地 100%的可采石油储量（13.7×10^8t）、51.4%的凝析油（17.8×10^8t）和 74%的天然气（709×$10^8$$m^3$）。

2）上中新统构造油气成藏组合

估计占该盆地发现可采油气储量的 29%。储集层主要是蒸发岩组合中的层段，包括 Bashayer 和 Suakin 砂岩层，它与 Zeit 和 Ghawwas 组时代相同。圈闭基本上是与断层有关的构造。该油气成藏组合含有盆地凝析油储量的 48.6%（16.8×10^4t），天然气储量的 26%（248.8×$10^8$$m^3$）。

5. 含油气系统

1）北红海含油气系统

Midyan 和 Barqan 的油气发现可归于北红海含油气系统。其烃源岩是下—中中新统 Maqna 和 Barqan 组，它们既是层内储集层和输导层，而且也是盖层，从晚中新世至今持续生油和运移。

2）南红海含油气系统

其烃源岩是 Dongunab 组中的晚中新世蒸发岩中的页岩。盐内地层既是储集层、输导层，也是盖层。预计在上新世期间沉积的烃源岩已经成熟，石油生成和运移从那时起一直持续至今。

6. 油气勘探开发历程及现状

该盆地在 20 世纪 60 年代初就开始招标活动（厄立特里亚除外），但是很多地区仍未进行勘探。自 50 年代末以来，在几乎 3×$10^4$$km^2$ 区域内仅钻了 61 口预探井，获得 6 个发现，成功率为 9.8%。

该盆地已采集了超过 14×10^4km 剖面的地震资料。圈定的主要构造在北红海基本上是旋转断块，在南部是与盐有关的构造。

盆地的最大油气发现是在沙特阿拉伯，Barqan 和 Midyan 总共占 61.2×10^4t 油当量，它们储集在早—中中新世地层，封闭在断裂背斜构造中。在苏丹获得 3 个发现，估计总储量为 37×10^4t 油当量，它们全部储存在与盐有关构造的晚中新世储集层中。在厄立特里亚 C1 发现的下中新统储集层中，天然气储量 1.4×$10^8$$m^3$。钻井中的问题可能是高井温和井压造成的。

该盆地任何地区均未进行开发，也没有生产许可证。没有钻开发井，没有油气产量。

五、小结

（1）红海（Red Sea）裂谷盆地位于东北非和阿拉伯前寒武系基底露头之间，长（北北西）1 600km，宽 200～360km。北部边界以亚喀巴湾和苏伊士湾为标志，南部界限是巴布曼达布海峡。在南部大部分被洋壳覆盖，而在北部可能大部为陆相。该盆地类型属克莱曼分类的ⅢA 型大陆裂谷盆地。

（2）红海裂谷盆地是由阿拉伯与非洲分离形成的。晚始新世发生隆起和抬升，其后在渐新世和早中新世产生拉张作用、地壳变薄和裂谷作用，随后在最晚的中新世至上新世时出现海底扩张。目前的红海裂谷盆地是三期构造—地层发育的结果：①三叠纪前裂谷期在北部和南部陆缘凹陷盆地中沉积了裂谷前层序；②同生裂谷期亚蒸发岩、蒸发岩、蒸发岩后单元形成；③断裂后（漂移）层序与海底扩张同时形成。

（3）在红海北部和中部，火山活动开始于早中新世。红海地区第三纪火山活动和隆起具明显的不对称性，这时的火山活动和隆起只见于红海东侧，而在西侧的埃及和苏丹火山活动实际上是不存在的。

（4）在红海北部，生油岩对比表明在 Burqan 发现的油气可能来源于前蒸发岩 Maqna 和 Burqan 单元中的层段；在红海南部，根据露头已知 Agula 页岩是晚侏罗世前裂谷烃源岩，有较高 *TOC* 值。在也门，潜在的前裂谷烃源岩是为 Tihama 边缘的 Kohlom 组的腐殖质页岩。

（5）已证明红海裂谷盆地的储集层位于 Barqan Midyan 和 C1 发现中（下—中中新统），以及位于 Bashoyer 1A Durwara 2 和 Suakin 发现的盐内（上中新统）中。

（6）红海裂谷盆地最重要的区域盖层是晚中新世蒸发岩、盐体、泥岩以及 Zeit 组和盐上组（相当于 Gharib 组）的互层状硬石膏。

（7）该盆地任何地区均未进行开发，也没有生产许可证。没有钻开发井，没有油气产量。

参考文献

B. Г. 卡兹明著，谈惠芳，郭玉琨译，青醇校．红海的地质史．海洋地质译丛，1988，(2)：30—33

陆克政主编．2001．含油气盆地分析．东营：石油大学出版社，74—76

Bunter M A G 等著，李军译．1999．厄立特里亚红海前裂谷远景评价新进展．石油地质实验，(55)，53—56

Beydoun Z R 著，梁连喜译，蒲庆南校．1990．红海—亚丁湾的烃类前景：评论．海洋地质译丛，6（1），48—57

Salah M G，Alsharhan A S 著，柯宗强译．1997．埃及红海西北部地区构造对油气成藏的影响．国外油气勘探，9（2），153—168

Timothy H Dixon，Erik R Ivins，Brenda J Franklin 著，王根华译．1991．红海周围地形和火山的不对称性：裂谷模型的控制条件．石油实验与地质，(2)，45—57

第十二节　东非裂谷盆地

东非裂谷盆地由一系列槽地与断层组成，它横跨赤道区，长 4 000km。从南到北，由总体近南北向、成东西两排裂谷分支、横穿其中的 3 个北西—南东向转换断层带和南部复杂带组成。裂谷由线性式雁行状的小型半地堑组成，每个地堑平均为 50km×30km（图 3—12—1）。

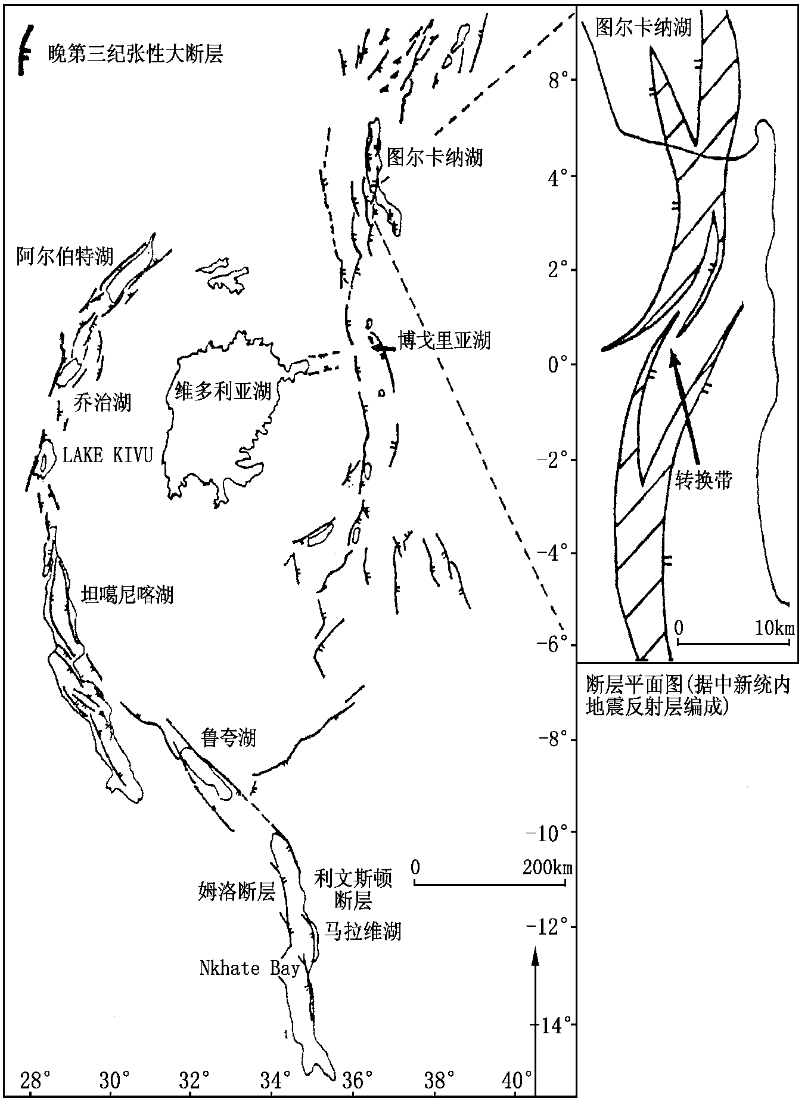


图 3－12－1　**东非裂谷系位置及其大断层示意图**（**据** C. K. Morley **等**，1990）

一、区域地质

东非裂谷继承了与地幔缝合线有关的前寒武纪地壳韧性剪切带的位置、踪迹及构造，因

阿法尔热点引起的大陆岩石圈破裂自渐新世开始逐渐向南扩展。

自最初形成孤立的初始破裂带的向南扩展是不连续的。由于糜棱岩带的深部韧性拉张活化，形成拆离断层，故断裂起始带必定发育在地壳前缘陡冲断层后侧，其结果在地壳形成脆性的正断层。地壳初始破裂带似乎发育在岩石圈地幔缝合线之上，因此，地壳和地幔变形没有联系。

作为前寒武纪构造带中横向陡冲断层的大型韧性走滑带，当其走向为北西—南东，即平行于离散地块的相对运动方向时，就活化成为走滑断层；而当其走向为北东—南西时，有时活化成为相当于大型张裂隙的地堑。

在时间上和空间上最初孤立的初始破裂带逐渐扩展，互相连接，形成主干破裂线。主干破裂线有时切割古前缘或横向陡冲断层及表面走滑断层，交切部位形成转接断层。

东非裂谷盆地由东支裂谷和西支裂谷、转接带联合组成。

1. 东支裂谷

东支裂谷从南向北分 3 段：阿法尔（Afar）洼陷、伊诺平（Ethiopian）裂谷与格里哥利（Gregory）裂谷。主要特征是由大量的几乎与断裂相补偿的碱性火山岩快速充填，估计体积达 470 000km^3。伊诺平与沙马林（Samalian）高原主要火山岩期为始—渐新世柱状裂隙性玄武岩溢流，北格里哥利为早、中新世。而后两区在晚中新世—早上新世为响岩流，上新世到早更新世为裂隙式到中心式喷发。中更新世以后，沿东支裂谷形成轴向火山链，将东支分成分隔的谷地。东支裂谷内一般断陷规模小、沉积薄，仅格里哥利裂谷北部特卡拉（Turkana）湖较大，长 250km，宽 15～30km，最大水深 125m，地震反射测得沉积岩最厚约 4 000m；其他断陷面积小于 30km×20km，沉积岩厚度小于 1 000m。剖面年龄为 4～14Ma。

2. 西支裂谷

西支裂谷分成北北东—南南西与近南北向的两段，自北而南的湖盆有阿尔伯特（Albert）和艾德沃（Edward），槽地有科瓦（Kivu）、坦噶尼喀（Tangaryika）、鲁夸（RUkwa）和马拉维（Malawi），向南一直延续到乌瑞马（Urema）和冬比（Dombe）槽地。西支的主要特点是火山岩少，裂谷活动时间长，湖盆规模沉积岩较厚。其中坦噶尼喀湖水深 1470m，地震测量沉积岩厚 6 000m；马拉维湖水深也达到 770m，沉积岩厚 4 500m。沉积岩时代主要是中新世至现代。在北部阿尔伯特湖，钻遇了 1 200m 的沉积，覆于结晶基底之上，地球物理资料显示，该裂谷沉积至少有 2 400m。南部的鲁夸湖，面积为 120km×16km，水深最大仅 3m，沉积岩为干旱的台地沉积岩，晚中新世河流相红层和晚中新世—近代湖相沉积第三纪至近代沉积 6 000～7 000m，剖面年龄仅为 5～7Ma。

3. 转接带

裂谷带内的沉积体系可分为前裂谷期、同裂谷期和后裂谷期 3 套层系。某些类型的转接带就能成为有经济价值的油气勘探区。转接带是裂谷演化过程中形成的构造，随着断层位移量变化而变化的转接带以及挠曲均衡底盘隆起的地形起伏对同裂谷期的沉积框架有很大影响。转接带不仅使裂谷内构造风格发生变化，明显影响裂谷沉积分布，而且对油气勘探起重要作用。

大陆裂谷主要受主断层的几何形态及其相互控制，主断层往往是裂谷系及其中地垒的边界。但转接带也起着重要作用，它们不仅造成两侧裂谷的位移差异和地形差异，而把裂谷系沿走向分成构造风格不同的后段；而且，与转接带有成因联系的构造组合导致油气田集中于

裂谷的某些特定位置。

二、大地热流

东非裂谷系的西支包括鲁夸湖和坦噶尼喀湖。西支与东支相比，其地温相对较低。东非裂谷系的东支有许多大陆碱性火山区，其地温梯度相对较高。当对沉积岩的表面热效应校正后，肯尼亚裂谷的平均热流为 100mW/m²，坦噶尼喀和马拉维地区为 67～73mW/m²。地温梯度较高以及岩浆岩体的发育表明地壳中脆性—韧性转换带位置较浅。因此，如果滑脱深度受温度控制或在一定程度上受温度控制，那么热流值最高的裂谷（即东非裂谷东支）其滑脱深度较浅。热流与区域地温的一个直接相关的问题是局部火成岩体引起的循环热流动可以重新分配裂谷上部的地热。然而，强烈的火山活动，高热流值和较高的区域重力异常（此异常表明低密度的软流圈置换了高密度的岩石圈），这些综合现象均表明东非裂谷东支比西支区域地温上升较大。

三、含油气性

位于大湖地区的东非裂谷盆地是正在活动的裂谷盆地，尽管已发现过沥青质原油，但是，由于没有进行过较为详细的石油地质勘探工作，目前还没有更多的含油气性资料。具有自然资源的重要沉积为有机质软泥、硅藻土、蒸发岩、沸石、硅酸钠、金属原生矿、磷酸盐和煤。油气苗早在阿尔伯特湖区发现，并由油公司在 1940 年钻遇了推测为中生界的油页岩，在一些井中还发现过沥青质原油。东非裂谷在大湖地区还没有发现有重要意义的石油，但雪弗龙和中国石油公司在苏丹的白垩纪裂谷中有重要发现。阿莫科公司在坦噶尼喀湖北部进行过地震和湖上钻探，在该处已知在扎伊尔边缘的 Cape Kalamba 和鲁夸发现过水下湖成的沥青显示。在东非裂谷一些地区已经证实有富含烃类的沉积，3 个已知的典型湖盆是东支的博戈里亚湖、西支的坦噶尼喀湖和科瓦湖。

在提供远景构造方面，各种转换带的作用很大程度上取决于要勘探的前裂谷期、同裂谷期和裂谷后的地层。由于转换带可能是较平缓的高地区并产生在裂谷盆地区内，所以，会聚断层系之间的转换带（如同向超接转换带或地垒带）（Rosendahl 等，1986）通常是寻找较浅的裂谷前沉积的好场所。在裂谷后层序中这些构造有可能产生披盖构造。

四、小结

（1）东非裂谷盆地是由一系列槽地与断层组成，它横跨赤道区，长 4 000km。从南到北，由总体近南北向、成东西两排裂谷分支、横穿其中的 3 个北西—南东向转换断层带和南部复杂带组成。裂谷由线性式雁行状的小型半地堑组成。

（2）东非裂谷系的西支与东支相比，其地温相对较低；东支有许多大陆碱性火山区，其地温梯度相对较高。

（3）东非裂谷盆地是正在活动的裂谷盆地，尽管已发现过沥青质原油，但是，由于没有进行过较为详细的石油地质勘探工作，目前还没有更多的含油气性资料。

参 考 文 献

王国纯译．1990．北维京地堑：东非裂谷的缩影．江汉石油译丛，(4)，45—55

莫利 C K，李永林译．1991．大陆裂谷的伸展、滑脱和沉积作用（以东非裂谷为例）．石油勘探开发情报，(5)，47—59

秦德余译．1991．东非裂谷系的转接带及其与裂谷油气勘探的关系．石油地质与实验，(2)，84—85

Jean Chorowicz **著，黄凤鸣译，王国灿校**．1993. **古构造在东非裂谷形成和演化中的作用．地质科学译丛**，10（1），32—35

Morley C K **著，李士范译**．1991. **东非裂谷系中的转换带及其与裂谷中油气勘探的关系．海洋地质译丛**，（2），68—78

Tiercelin J J. 1991. Natural resources in the lacustrine facies of the Cenozoic rift basins of east Africa. Spec，Publs. Int. Ass. Sediment，（13），3—37

第四章　大型裂谷深层油气藏

近年来，随着全球油气勘探程度的不断提高和经济增长对油气需求的持续增加，使大部分地区“增储上产”面临的压力越来越大。为了实现储量的接替，缓解供需矛盾，开辟新区、新领域进行勘探已势在必行。因此，选择合适的盆地，将勘探目标更多地转向深层新领域，挖掘其资源潜力，已成为当今世界上许多国家增加油气产、储量的主要途径。

第一节　全球深层裂谷系油气富集规律

裂谷盆地是指在地质演变的某个时期经历了裂谷时期的沉积盆地，受断裂作用的影响是此类盆地的主要特点。在不同级别的断裂作用影响下，盆地出现了坳隆相间、凹凸相邻的构造格局，它们均经历过持续的沉降期，沉积了巨厚的沉积物，生成的油气在具备良好的生储盖条件下进入背斜、断块、不整合及岩性等圈闭形成油气藏。

在我国，深层裂谷盆地是指那些主要含油气目的层的埋深大于3500m的裂谷盆地，国外则把埋深大于4000m裂谷盆地称为深层裂谷。

一、世界裂谷盆地油气地质特征概况

1. 裂谷盆地的重要性

裂谷盆地是世界上重要的含油气盆地之一，据1990年资料的统计，在全世界含油气沉积盆地中有68个具有油、气储量分别等于或大于1×10^{8}t（7.4×10^{8}bbl）和1 250×10^{8} m^{3}（$4.4\times10^{8}ft^{3}$）大油田和大气田的沉积盆地。在这些盆地中累计发现了324个大油气田。对上述68个盆地的构造分析表明，其中至少有45个（即最少占总数66%的盆地）属裂谷盆地。

许多沉积盆地都属于裂谷型盆地，如北海盆地、苏伊士湾盆地、锡尔特盆地及中国的渤海湾盆地和松辽盆地等。在北美17个含有大油气田的沉积盆地中，至少有10个是属于各种裂谷盆地，南美7个沉积盆地有4个与裂谷有关，非洲7个沉积盆地有5个，亚洲14个沉积盆地中有9个与裂谷有关，澳洲和新西兰的5个含大型油气田的沉积盆地全部为裂谷盆地。它们不仅有大油气田，而且油气储量丰度也很高。在裂谷构造中探明的油气储量约占世界总发现储量的10%以上。表4－1－1列举了世界上勘探程度较高、与裂谷有关的盆地及其含烃丰度。

世界裂谷盆地油气勘探历史证明，衰亡裂谷盆地类具较好的油气远景。西北欧的北海北部盆地、埃及的苏伊士、利比亚的锡尔特盆地及我国的松辽和渤海湾盆地都属于衰亡裂谷盆地类。

衰亡裂谷盆地的烃源岩主要是同生裂谷期的欠补偿沉积层序，即裂谷总体沉降晚期和后期的水进沉积，同时在裂谷初期形成的湖相沉积层序也可以成为生油气源岩，如我国东部裂谷盆地中湖相烃源岩厚达几百至上千米。其储集岩可以是前裂谷期和后裂谷坳陷期的沉积层序。在这些盆地内大油气田形成过程中，圈闭起了很大的作用。这些圈闭与裂谷发育中的掀

斜断块和半地堑单元有关，它们对沉积起着明显的控制作用。

表 4—1—1　世界上与裂谷有关的盆地及其含烃丰度（据 Hans R. Grunau，1990）

地　　区	油当量 (bbl/km²)	地　　区	油当量 (bbl/km²)
北海裂谷系	275 324	渤海湾盆地（中国大陆）	55 541
苏伊士湾	268 821	赤道西非冒地槽	43 773
大草原盆地（巴西）	112 204	塔拉纳基（Taranaki）盆地（新西兰）	28 549
锡尔特盆地（利比亚）	100 252	非桑芦克（Phifsaulok）盆地（泰国）	7 189
吉普斯兰德盆地（澳大利亚）	93 551	上莱茵地堑（德国、法国）	6 971
上部和中部马格达里拉（Magdalena）盆地（哥伦比亚）	70 571	红海 *	

* 红海没有油气储量数字的报道。

2. 裂谷盆地的石油地质特征

在裂谷盆地形成过程中，裂谷的形成不仅决定着这些沉积盆地的构造特征及发育特点，而且决定着它们的油气生成条件和富集规律。

1）大型油气藏（田）主要分布在中、新生界

中生代地壳分裂和拉张过程是全球性的，它席卷了墨西哥湾、东南非洲、印度、北极地区、西西伯利亚及其他一些地区，并且与裂谷有关的沉积盆地的含油气性主要与中、新生代的裂谷构造有关，这已被北海、锡尔特、渤海湾、松辽等含油气性很高的盆地所证实。

北海是中生代裂谷的典型例子，大量的油气聚集都与中、新生代的沉积有关，如盆地内的科麦兰特、哈通和布伦特油田（图 4—1—1）。它们位于设得兰岛和挪威海岸之间，区域构造背景是裂谷型地堑，油藏深度在 4 500～5 000 m 之间，储集层是基底面之上的下侏罗统底部沉积岩，产量很高。

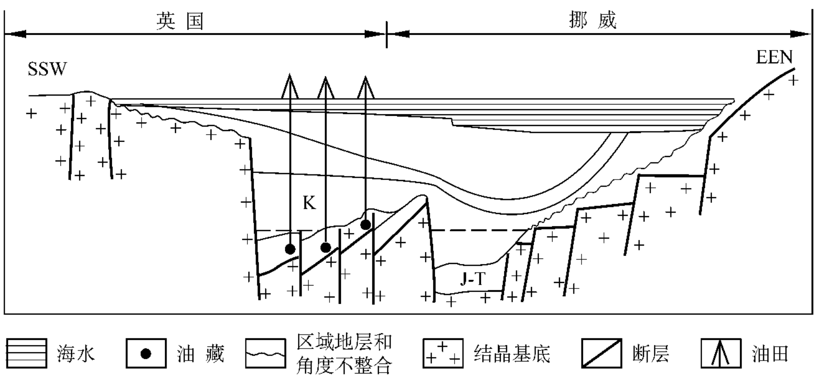


图 4—1—1　北海盆地设得兰岛和挪威海岸地质剖面示意图
（据 E. Kapyc，转引自裘慰庭，1997）

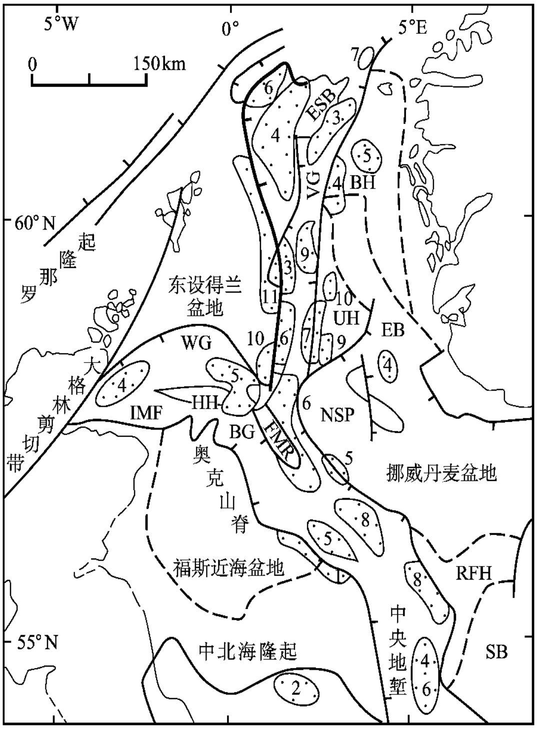


图 4－1－2　**北海北部油气远景带分布图**

（**据** A. J. Parsley，1990）

1—**地堑边缘古生界含油远景带**；2—**本特天然气远景带**；3—**中下侏罗统天然气/凝析油远景带**；4—**中下侏罗统含油远景带**；5—**上侏罗统浅海砂岩油气远景带**；6—**上侏罗统冲积扇/浊积砂岩油气/凝析油远景带**；7—**下白垩统油气/凝析油远景带**；8—**上白垩统/达宁阶白垩含油气/凝析油远景层带**；9—**下第三系砂岩油气远景带**；10—**下第三系砂岩重（和中）油远景带**。BG—**本奇地堑**；BH—**贝尔根隆起**；EB—**伊格尔桑得盆地**；ESB—**东设得兰盆地**；FMR—**福蒂斯和蒙特罗斯山脊**；HH—**哈利布特地垒**；IMF—**内莫里湾盆地**；NSP—**挪威含盐台地**；RFH—**林克宾芬隆起**；SB—**斯切尔班克隆起**；SS—**索恩陆棚**；UH—**乌特西拉隆起**；WG—**威奇格朗得地堑**；VG—**维京地堑**

2）**沉积快、热流值高、垂向运移为主**

陆壳拉张条件下形成的裂谷构造沉积速度快，热流值高，各种类型的构造和非构造圈闭

发育并以断块油气藏为主。同时油气以垂向运移为主，具有含油气丰度高的特点。

（1）裂谷体系具有较快的沉积物堆积速度，即在相当短的时间内（5～12 Ma）沉积了巨大的厚度。通常其下部是碎屑岩和火山岩，上部是很厚的含盐层和海相（陆相）碎屑岩沉积，有时是碳酸盐岩沉积。地垒内部及裂谷周边是碎屑的物源区。在裂谷型地堑内形成的富含有机质泥岩，是优质的生烃母岩。

（2）裂谷盆地内具较高的热流值，有利于被埋藏的有机质加速演化成烃。如在西西伯利亚板块内裂谷发育的地方，1 km 深处的温度要比其南部的围岩高出 3～4℃。

（3）在裂谷期构造中，油气被限制在裂谷盆地的中心和边缘。主要的油气聚集带分布于地垒型隆起、构造阶地及基岩单斜断块或前裂谷期的杂岩体单斜断块上，这些构造均沿断裂分布或者分布在大型地堑的内部。如北海北部几乎所有重要的包括第三系的油田发现都被限制在中生代主要裂谷盆地的中心和边缘（图 4—1—2）。

3）古裂谷对上覆裂谷层序油气聚集的影响

虽然在一些被深埋的裂谷（如许多古裂谷）中，未能发现具工业价值的油气藏，但它们对上覆裂谷层序中油气聚集的影响是不容置疑的。

广泛发育在古地台上的古生代和晚元古代的裂谷、拗拉谷和年轻裂谷一样，对岩石圈的演化和沉积盆地的形成起着重要作用，但它们对含油气性的影响却很小。最近 20 年内，随着深部地球物理勘探方法和深井钻探的发展才查明，在大多数地台盆地之下都发育有古裂谷构造，如密执安、乍得等盆地，早期曾认为它们是一些简单的碟形盆地。在一些古地台沉积盆地的古生代裂谷和岩体中，发现有工业性的油气聚集，而在前寒武纪裂谷中只发现了一些油气显示。古裂谷构造在任何情况下（即使它们没有油气藏），都会对上覆裂谷沉积层序的含油气产生一定的影响。因为在裂谷期（或古裂谷回返期），断裂的周期性活动不仅可以形成新的构造，而且还可以从裂谷杂岩中排出油气流。

4）深大断裂对油气运移的作用

许多古裂谷的深大断裂不止一次地（直到近期）活化或再活动，而某些古裂谷就是现代地震的活动带，它们对油气流的运移起着重要作用。

许多事实都证实裂谷构造，特别是活化断裂对其上覆层序中的构造及其油气聚集会产生一定的影响。例如，哈乌埃勒尔—诺尔特维尔背斜是密执安盆地的油气聚集带，它可能就是密西西比构造期前寒武纪裂谷的回返构造，而其他 2 个油气聚集带（阿尔比昂—斯奇比奥），虽然位于裂谷型地堑之外，但仍受控于平行它的大断裂，这些断裂控制着奥陶系特仑顿灰岩储集层的裂缝发育程度和高渗透带的分布。北美地区还有 1 个元古代—早古生代的裂谷系——里勒福特裂谷系，它不仅在寒武纪，而且在二叠纪和白垩纪都在活动，现今的密西西比地堑构造具有从裂谷阶段继承下来的许多构造特征，这一阶段最强的地震活动带就沿古裂谷分布。

古裂谷构造的活化，形成了一系列的重要构造，这些构造不仅对裂谷型杂岩体，而且对古生界盖层的含油气远景都是有意义的。裂谷与较晚期的构造（如中央依阿华隆起逆掩断裂带）和横向断裂的交叉处是最有意义的。

5）裂谷盆地油气有机复合成因说

地球脱气的最新资料为油气的深源有机复合成因说提供了依据，并且深部原生气流，包括烃类在内，只富集于大陆裂谷带内。

油气的深源有机复合成因说的基本观点认为：地球深部赋存有大量的 CH_4 和 H_2 等还

原性气体，沿壳幔断裂或岩浆活动向地球浅部运移，并与沉积岩中的有机物发生加氢反应，从而形成油气并聚集成规模不等的油气藏。目前，烃类总是与其他内生流体共生的事实已被人们接受，同时也被现代“活”裂谷（红海裂谷、东非裂谷）的研究，以及充填在裂谷盆地中的沉积物被铜、锌等金属和深部气体（氦、氮、氢）的矿化现象（甚至形成工业性聚集）所证实。控制并切割地堑的深大断裂，对深部油气的运移起着十分重要的作用。

6）裂谷构造体系具明显的地球物理学特征

大量的地质与地球物理资料表明，所有不同时代的各种裂谷构造体系，包括现今的大洋和大陆裂谷以及它们的古代类似物——拗拉槽在内，都具有许多共同的地球物理学特征，在裂谷盆地的轴部普遍存在沉积层厚度增大和莫霍面减薄的现象。由于莫霍面上升的结果，地壳结晶基底在莫霍面之下变薄，呈双凸透镜对应关系。我国的松辽盆地和渤海湾盆地均具此特征。同时莫霍面之下的上地幔具有异常低的纵波速度（7.3～7.8 km/s），而处在较低莫霍面的地台相邻地块之下时，这个速度值达 8.0～8.3 km/s。前者比后者下降约 5%～7%。在裂谷构造之下存在欠压实的软流圈突起。其突起上升的同时伴随着地壳的扩张，产生裂谷作用。在裂谷盆地中，重力和磁力异常梯度明显集中于边界断层处，这是用地球物理方法识别边缘断层的依据。

二、世界深层大油气田的分布

在裂谷盆地的深层（>3 500 m）寻找油气藏是人们所普遍关注的问题，也是涉及深层油气勘探新层系、新领域的重大问题。这是因为一方面全球工业发展对能源的需求量越来越大，另一方面是由于许多地区油气浅层的勘探程度已经很高，有必要勘探新的具有含油气远景的深层；与此同时，随着成熟盆地油气勘探实践的不断深入，人们已经认识到深层确实存在着储量可观的油气藏。

世界石油工业 100 多年的勘探开发历史表明，全球石油工业上游油气储量的增长，主要有 2 个途径：一是靠发现新油气区和开拓新领域；二是靠对已开发（老）油田资料的重新修正与认识。开拓新领域的重点就是开发与寻找深层及隐蔽油气圈闭。世界上有 70 多个国家进行了深度超过 4 km 的油气钻探。世界上目前已发现的最深气藏是在美国西部盆地阿纳达科凹陷米尔斯兰奇气田（7 663～8 083 m）的下奥陶统碳酸盐岩气藏，储量达 $365\times10^8 m^3$，单井日产气 $6\times10^4 m^3$；而在美国墨西哥湾密西西比三角洲的列克—华盛顿湖油田 6 540 m 深处发现了世界上最深的油藏。

我国于 1998 年初在塔里木盆地塔中构造带上完钻的塔参 1 井为亚洲第一深井。其井深为 7 200 m，于 4 000 m 钻入奥陶系风化壳，并在 5 059～6 930 m 钻遇 12 段油气显示。钻穿膏盐层 127 m，其以下气测见异常。

1. 世界深层大油气田

通过对油气最终可采储量不少于 $6\ 850\times10^4 t$（$5\times10^8 bbl$）的大油田和不少于 $850\times10^8 m^3$（$3\ 0000\times10^8 ft^3$）的大气田统计，世界大油气田共计 509 个。在 4 000 m 以下深度范围内，共发现大油气田 29 个（表 4－1－2），它们主要分布在墨西哥湾的雷佛尔玛盆地（11 个）、坎佩切盆地（4 个）、委内瑞拉的东委内瑞拉盆地（2 个）、美国的二叠盆地（2 个）、法国的阿基坦盆地（2 个）及加拿大的斯科舍陆棚和马更些盆地等。

表 4－1－2　国外位于 4000 m 以下的深层大油气田统计（据周庆凡等，1992）

油气田名称	发现年代	国　家	可采储量			盆　地	深度（m）	圈闭类型	储集层时代	储集层岩性
			油当量（10^6 t）	石油（10^6 t）	天然气（10^{10} m^3）					
田吉兹	1979	前苏联	1 678	1 027	782	滨里海	5 400	礁　块	石炭纪	碳酸盐岩
贝穆德斯	1958	墨西哥	1 388	980	490	坎佩切	4 300	断背斜	白垩纪	白云岩
埃尔弗里尔	1985	委内瑞拉	766	700	79	东委内瑞拉	4 267	断背斜	渐新世	砂　岩
埃尔卡里托	1988	委内瑞拉	394	328	79	东委内瑞拉	4 572	断背斜	渐新世	砂　岩
卡克图斯	1972	墨西哥	303	237	78	雷佛尔玛	4 100	断背斜	白垩纪	灰　岩
库西亚纳	1991	哥伦比亚	274	274		拉洛斯	4 877	断背斜	白垩纪—第三纪	砂　岩
伊里斯	1977	墨西哥	233	210	28	雷佛尔玛	4 500	断背斜—盐丘	白垩纪	碳酸盐岩
拉克	1951	法　国	189		227	阿基坦	4 000	背　斜	白垩纪	碳酸盐岩
沙加阿	1980	沙　迦	182	42	168	波斯湾	4 300	?	白垩纪	砂　岩
布哈提菲尔	1969	利比亚	168	168		锡尔特	4 300	背　斜	白垩纪	砂　岩
大锡蒂奥	1972	墨西哥	107	107		雷佛尔玛	4 500	断　块	白垩纪	白云岩
阿格韦	1976	墨西哥	98	98		雷佛尔玛	4 500	断　块	白垩纪	碳酸盐岩
斯塔罗格罗钦	1893	前苏联	91	91		库　拉	4 100	背　斜	白垩纪	砂　岩
马洛萨	1973	意大利	87	46	148	波　河	5 400	断背斜	三叠纪	白云岩
本图里	1979	加拿大	84		102	斯科舍陆棚	5 300	?	?	砂　岩
梅利昂—鲁塞	1965	法　国	82		98	阿基坦	4 500	背　斜	白垩纪	碳酸盐岩
新里奥	1975	墨西哥	70	70		雷佛尔玛	4 200	断背斜	白垩纪	白云岩
帕克特	1952	美　国	70		84	二叠	4 000	背　斜	奥陶纪	白云岩

续表

油气田名称	发现年代	国家	可采储量			盆地	深度 (m)	圈闭类型	储集层时代	储集层岩性
			油当量 (10^6t)	石油 (10^6t)	天然气 ($10^{10}m^3$)					
戈麦斯	1963	美国	70		84	二叠	6 000	断背斜	奥陶纪	碳酸盐岩
伊桑格拉克	1980	加拿大	70	70		马更些	4 200	?	侏罗纪	砂岩
贝尔托达*	1982	墨西哥				雷佛尔玛	6 000	断背斜—盐丘	侏罗纪—白垩纪	白云岩
卡顿纳斯*	1980	墨西哥				雷佛尔玛	5 960	断背斜	侏罗纪—白垩纪	白云岩
基拉尔达斯*	1977	墨西哥				雷佛尔玛	4 946	断背斜	白垩纪	石灰岩
朱乔*	1980	墨西哥				雷佛尔玛	6 435	断背斜	侏罗纪	石灰岩
卢纳*	1985	墨西哥				雷佛尔玛	5 820	断背斜	侏罗纪	白云岩
帕雷顿*	1977	墨西哥				雷佛尔玛	6 100	断背斜—盐丘	侏罗纪	白云岩
特科米诺肯*	1985	墨西哥				雷佛尔玛	6 445	断背斜—盐丘	侏罗纪	白云岩
巴塔布*	1984	墨西哥				坎佩切	4 720	断背斜	白垩纪—第三纪	砾岩白云岩
乌契*	1986	墨西哥				坎佩切	5 100	断背斜	侏罗纪	白云岩

* 属于最终可采储量不低于 6 850×10^4t 油当量的大油气田（Jose Santiago 和 Alfonsio Baro，1990），但未公布具体的储量数据。

世界 509 个大油气田仅占世界油气田总数的 1.7%，但其油气储量（2 032×10^8t 油当量，包括 1 232×10^8t 石油，99×$10^{12}m^3$ 天然气）却占世界油气总储量的 70%。大多数大油田的埋藏深度在 1 220～3 050 m 之间，其储量占全部大油气田储量的 79%（表 4—1—3）。3 660 m以下的大油田和大气田的储量分别占总数的 7.8%和 3.2%。

表 4—1—3 大油气田油气储量的深度分布（据周庆凡等统计，1992）

深度（m）	大油田所占储量（%）	大气田所占储量（%）	
<1 220 1 220～3 050 2 050～3 665	5.1 79 8.1	25.7 46.1 25	96.8
3 660～4 270 >4 270	7.6 0.2	1.9 1.3	

根据对英荷盆地、马拉开波盆地、加蓬海岸盆地等 10 个盆地的深层油气田分布层位的统计（表 4—1—4），可以发现分布于白垩系的占绝大多数（7 个盆地），第三系的 2 个，上古生界的 1 个。而从表 4—1—2 可得到同样的规律，即深层大油田主要分布在白垩系，其次是上古生界；深层大气田则主要分布在石炭系—二叠系，其次是白垩系及奥陶系。从圈闭类型上看，深层主要为背斜及断背斜圈闭；从储集层岩性上看，以碳酸盐岩为储集层的储量是以砂岩为储集层的油气储量的几十倍；从发现年代来看，80 年代以后深层油气田发现的比例较高，这表明深层油气勘探越来越重要。

表 4—1—4　全球代表性裂谷盆地深层油气田特征

盆地名称	个数	油气类型	层　位	埋　深　（m）
英荷	63	天然气及凝析油	二叠系	3 500～4 000
马拉开波	23	石油及天然气为主	始新统及中新统	4 000～5 500
加蓬海岸	1	油	下白垩统	3 750
尼日尔三角洲	44	油、气、凝析油都有	中新统	3 500～4 000
奥特尼瓜	1	天然气	下白垩统	3 700
索马里	1	天然气	上白垩统	3 600～3 850
下刚果	5	油、气、凝析油	下白垩统	3 500～4 000
西南非洲海岸	1	天然气	下白垩统	4 277
桑托斯	10	石油、天然气及凝析油	下白垩统	4 500～5 000
锡尔特	32	石油和天然气	下白垩统	3 500～4 500

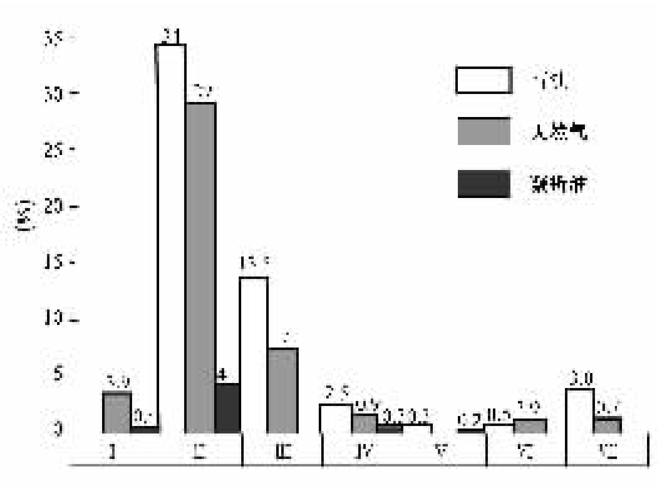


图 4—1—3　不同地球动力环境中 4 km 以下地层原始探明油气地质储量分布图

（据 М. И. Лоджьская，1991）

地球动力环境：Ⅰ—裂谷后的陆向斜；Ⅱ—被动边缘；Ⅲ—具三角洲体系的被动边缘；Ⅳ—边缘海；Ⅴ—造山（山前）；Ⅵ—地台后的造山带、回返裂谷；Ⅶ—造山运动后的裂谷和陆向斜

2. 深层油气资源分布情况

对世界上地球动力环境不同的含油气盆地内油气原始探明地质储量的分布表明（图 4—1—3）：深层中的大多数储量（63％的石油、53％的天然气和 86％的凝析油）分布于古老的被动边缘，它们大部分发生在主动边缘和岛弧碰撞的阶段，石油及凝析油与天然气的储量比在这一带为 1∶3∶1；对于具有广泛三角洲发育、造山期后裂谷和复向斜广泛发育的现代被动边缘来说，也是液态烃多于气态烃。只有在后裂谷期的复向斜中，天然气储量才比石油和凝析油的储量高。

在全球的所有五大洲深层均发现具有工业油气价值的盆地和区域。英荷盆地位于欧洲，马拉开波盆地、桑托斯盆地在南美，加蓬海岸盆地、尼日尔三角洲盆地、奥特尼瓜盆地、索马里盆地、西南非洲海岸盆地、下刚果盆地、锡尔特盆地则位于非洲，亚洲有松辽盆地、渤海湾盆地及前苏联的一些盆地，北美有美国的盆地，这些盆地在深层均有工业油气发现。另外，在这五大洲中有 6 个各具深层油气藏特色的古地台区，它们是东欧地台、西伯利亚地台、北美地台、撒哈拉—阿拉伯地台、南美地台和南澳洲地台，其深层油藏、气藏、凝析气藏随着沉积岩地质年代的分布状况见图 4—1—4 所示。按照盆地形成的条件和地质时期不同，可将深层已形成工业性油气藏的盆地划分为四大类：老地台盆地、年轻地台盆地、地槽期后的盆地和地台后造山运动盆地。它们在 4～8 km 深度油气探明储量的分布见表 4—1—

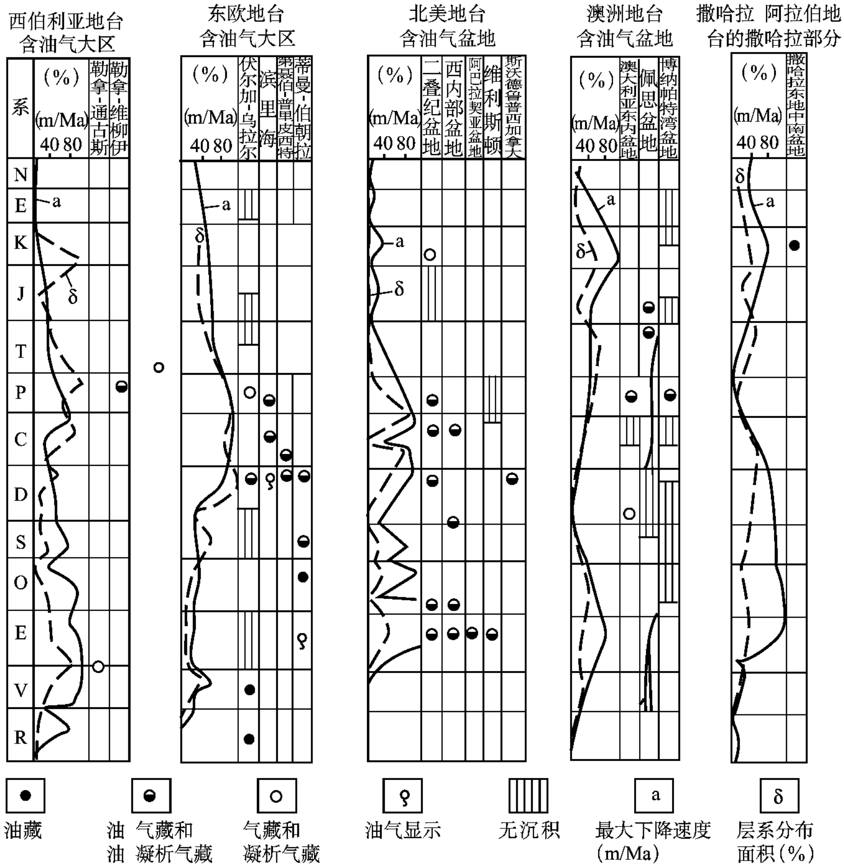


图 4—1—4　**全球老地台中** 4 km **以下的油气分布**

(**据** C. П. **马克西莫夫**，1984；**转引自胡征钦**，1988)

5。**从表中可见，在所有不同大地构造类型的含油气盆地中均已形成深层油气田，富集程度却不太相同。年轻地台上所发现的深层油气田的探明储量大于老地台，并且已发现的深层油气田数目也明显比老地台盆地多。**

表 4—1—5　**在** 4～8 km **深度油气探明储量的分布**

(**据** C. П. **马克西莫夫**，1984；**转引自胡征钦**，1988)

盆　　地	石　油 (10⁸ t)	天然气 (10⁸ m³)	油气总量 (10⁸ t 标准燃料)
老地台盆地	0.426	36 128.54	36.55
年轻地台盆地	28.14	13 564.01	47.70
地槽期后的盆地	1.40	2 393.45	3.79
地台后造山运动盆地	0.02	10 000.00	10.02
总　　计	29.98	62 086.00	98.06

三、深层裂谷盆地构造特征与其形成演化

具有深层油气的裂谷盆地与其他裂谷盆地一样，主要由基底和盖层两部分组成。其演化多数经历了3个阶段，即前裂谷期、同生裂谷期和后裂谷期。

前裂谷期：主要形成基底，其组成包括前寒武系结晶岩、变质岩及一部分下古生界沉积岩和变质沉积岩。

同生裂谷期：裂谷形成阶段，又可分为多个埋藏及构造反转期，此时期主要特征是由于古大陆的解体及大洋的扩张作用产生了拉张应力，在主张应力作用下发生裂陷产生裂谷。此阶段发生的沉积作用主要与断层有关，有可能在断层下降盘形成巨厚沉积体系。

后裂谷期：即裂谷发生热沉降的时期，这一阶段是盆地主要油气田生储盖组合的形成时期，也是主要沉积期，随着海侵的不断发生，盆地不断沉降，形成了含有多套生储盖组合的巨厚沉积体系，当沉积到一定厚度到达了油气生成的窗口即有油气生成，然后发生运移，遇到合适的圈闭即形成油气藏。因此这个阶段是油气形成的主要阶段，其沉积体系是进行勘探工作的主要目的层。

根据以上分析可知，深层裂谷盆地主要沉积体系形成于中生代及新生代的侏罗纪、白垩纪和第三纪，而主要产油期亦在这个时期，因此这些深层裂谷盆地主要是中、新生代裂谷盆地（表4—1—6）。

表4—1—6　深层裂谷盆地的含油气组合、圈闭类型及形成地质年代

特征 盆地名称	主要含油气组合类型	主要圈闭类型	形成地质年代
英荷	1. 二叠系赤底统组合 2. 三叠系组合 3. 石炭系	断块及倾斜断块及在构造反转期形成的构造圈闭	古生代
马拉开波	1. 第三系始新统构造—地层组合、构造型及构造—不整合型 2. 第三系上中新统地层—构造型组合	白垩纪前以构造型为主，其后则为构造—地层型	中生代
加蓬海岸	1. 下白垩统盐下含油气组合 2. 上白垩统及第三系盐上组合	主要是与盐体有关的背斜、断裂构造	中生代
尼日尔三角洲	第三系Agbada组构造，构造—不整合组合	同生断层下部的滚动背斜带	新生代
奥特尼瓜	1. 前裂谷基底组合 2. 裂谷期白垩系组合 3. 后裂谷期上白垩统组合	与不整合有关的构造圈闭	中生代
索马里	1. 二叠系—三叠系构造—地层型组合 2. 侏罗系构造型 3. 古新世—始新世构造型	掀斜断块、断垒、反向断裂等以断裂为主的伸展构造	古生代
桑托斯	1. 盐后白垩系组合 2. 盐后第三系组合	通常是与盐丘有关的构造—地层圈闭	中生代
下刚果	1. 巴列姆期盐后白垩系组合 2. 阿尔布期构造—地层组合	以盐前的倾斜断块及盐后的盐构造为主	中生代
西南非洲海岸	1. 盐前下白垩统组合 2. 构造—地层组合 3. 第三系构造—地层组合	地层圈闭为主	中生代
锡尔特	1. 前上白垩统组合 2. 上白垩统组合 3. 第三系组合	以同生断层产生的滚动背斜为主	新生代

四、裂谷盆地深层油气藏形成条件

近年来在世界上许多地区 4 km 以下都发现了各种相态的油气藏。在含油气盆地深层的高温高压带内液相烃生成下限的理论引起了人们的特别注意。前苏联 4 km 深处的石油（包括凝析油）储量与天然气储量之比为 1.16∶1，也就是说，深层液态烃的作用在增大。世界范围内也发现了这种规律，其比是 1.54∶1。在世界 82 个含油气盆地 4 km 以下深处发现的 2300 个油气藏中，大约有 40%为油藏、气—油藏和油—气—凝析油藏，而 56 个大和特大深层油气田中有 70%为油田、气—油田和油—气—凝析油田，只有 14%为气田，16%为凝析气田。这些资料表明，在所研究的含油气盆地中，4 km 以下深处液态烃在原始探明地质储量平衡表中具有重要意义。超深、高温井（>7 km，>200℃）岩心样品的有机地球化学研究有助于说明，烃类在深层受热其液态烃存在的温度范围有所扩大的现象。表 4—1—7 中所示的 3 口超深井的分析表明，即使在现代地温 220～296℃条件下，3 口井内的下白垩统、上泥盆统—下石炭统和上侏罗统的生油气岩也没有丧失生成液态烃的可能性。大量的勘探实践与研究结果也表明，油、气在沉积岩剖面中的垂向分布与相态特征取决于一系列因素，绝非简单地按其埋藏深度界限产生油、气相态的更替。

表 4—1—7　超深井岩的有机地球化学研究（据 М. И. Лоджеъская，1991）

参　　数	井　　号		
	扎科布斯—1（墨西哥湾盆地）	贝尔塔·罗杰斯（阿纳达科坳陷）	马克·涅尔（内部含盐盆地）
深度（m）	7 544	8 442～8 470	6 894～6 905
地层时代	K_1	D_3～C_1	J_3
温度（℃）	296	230	220
有机碳含量（%）	0.48	3.59	3.00
镜质组反射率（R_o）（%）	4.4～4.8	4～4.5	2.74
藻质体含量（10^{-2}）	80	85	75
C_{15}^{+}（mg/L）	2 200	3 010	1 886
沥青中的含量：链烷—环烷烃（%）	78	48	—
芳烃（%）	4	23	—
杂化合物中的 N+S+O	18	28	—
氢指数	44	132	157
产油指数	0.5	0.5	0.7

1. 烃类相态的影响因素

1）深度

液态烃的甲烷化作用就是在温度增高条件下形成的。

温度对液态烃甲烷化的影响，不同的学者持不同的观点。一种观点认为，通常石油在温度超过 100℃时开始演化轻质油，而在 175℃以上时石油相则会全部消失；而另外一种观点则认为，液态烃的甲烷化应在温度更高的条件下发生。这一过程的临界界限确定为 400～500℃。石油完全裂解生成甲烷和焦炭是甲烷化作用的最终结果，相应的深度为地下 10～12 km。

烃的分解速度与时间和温度关系的研究表明，烃的裂解周期与温度成反比，温度愈高，甲烷化的周期愈短，反之亦然。同时烃的分解速度与时间和温度之间呈现很复杂的关系，特别是温度常受区域地质演化特征（张弛）所制约，从而造成相近的深度，在不同的盆地之间或不同坳陷之间，油气藏有不同的相态。从表 4－1－4 可以看出，全球具有代表性的 10 个裂谷盆地，其深层油气藏分布均在 3 500～5 000 m 之间，特别是 3 500～4 000 m 之间；而相态截然不同，有的是纯气藏，有的是油、凝析油、气并存，有的是油、气并存。这就说明烃类在深层的相态与盆地的区域演化有关系，如在一些存在强烈反转期的盆地中，以气藏为主，如桑托斯盆地。而在一些地温梯度低（1.5～2℃/100 m）的地区，石油形成主相移到了深处。前苏联的一些年轻盆地（下库林、西库班等），那里的石油形成主相的下限可能下降到 6～8 km。在含盐盆地的盐下层中，因为这里有比较剧烈的散热作用，故石油形成主相最深。如滨里海盆地，由于在盆地内广泛发育了不等厚度的盐层，同时在中生代末和新生代初，其盆地的内缘带经历了强烈的张弛过程，减缓了分解反应的速度，预测在 8 km 深处主要发育有古油藏转化初始阶段的烃类聚集，即凝析气藏和罕见的“轻质”油藏。（表 4－1－4）。

在年轻地台上的中生界沉积中（如前苏联北部的前高加索盆地），其烃类聚集类型多数是含有高产凝析油的凝析气藏和低树脂、高含蜡、甲烷型的油藏，这些油气藏经受高温作用的时间大约为 30 Ma。在褶皱区盆地的新生界沉积中（南里海盆地），分布有油藏和凝析气藏（常带有油环的），且以油藏占多数。在新生界沉积中，油气成长的年龄不大（1.5～5.0 Ma），所以，尽管在全球深层具有刚性的温压条件，但液态烃的裂解作用甚至在深度 6～7 km（布拉海盆地）仍不显著。

综合以上这些因素，可以这样认为：在古地台盆地和较年轻沉积的盆地两者之间，其深层的石油和天然气聚集与分布具有不同的特征，即古地台上的盆地与年轻地台上的盆地（亦即中、新生界的褶皱区和过渡带）相比，油气聚集的分界线多位于剖面的更上部和温度较低的区间；而年轻的盆地内，尤其是那些生油层尚未达到最大埋深的盆地，油藏沉降深度可大于 7 km，最有可能发现的甲烷气藏聚集带（虽尚未钻达）其埋深可达 9～10 km。

2）温度和压力

温度的升高可影响流体的互溶性，加速油藏的破坏作用和甲烷化过程；相反，压力的增加则使这些作用减缓，并使天然气在液体内的溶解度加大。

一般在温度为 200℃时，烃类组合中除甲烷、乙烷、丙烷为气态外，丁烷、戊烷也变成气态，但当地层存在异常高压时，即使地层温度超过 200℃，仍有液态烃赋存。如已知的华盛顿湖油田、巴尔湖油田（油层深 6 060 m），地层温度均超过 200℃，由于异常高压阻止了液态烃的解体与气化，仍为油藏。

人们已经总结出油气在地壳垂向剖面内分布的一般规律，即对于所有含油气盆地来说，烃类相态随深度一般呈有规律的变化。这种变化表现为：在较浅处先形成分散有机质演化程度不高的产物，主要是生物成因的气态烃，沿剖面向下，因深成作用程度加深而出现液态烃和油环；再往下则为轻质纯油藏；而更深处则会陆续出现气藏、凝析气藏和带气顶的凝析油藏。油气藏中高碳数的烃含量逐渐减少，在最下部由于温度增高，液态烃的甲烷化作用较强，出现以甲烷为主的纯气藏。

由以上分析可知，温度、压力、有机质类型及后生作用阶段等因素都不是决定油气藏相态分布的惟一因素，其分布是诸种因素综合作用的结果，这些因素包括生成油气的原始有机

质类型；烃类生成和聚集的时间；烃类运移、聚集过程中的热压条件；圈闭的密闭性，水文地化条件等。在这些因素中热压条件（古今地层温度与压力）是决定油气相态的最主要因素，它不仅对油气的转化方向、进程、速度起重要作用，而且对已形成的油气藏改造、破坏及由此而引起的相态变化有重要影响。

2. 深层油气藏的储集层特点

深层油气藏的储集体多种多样，从砂岩、碳酸盐岩到基底的变质岩、花岗岩，其最主要的决定因素是岩石的物性，即孔隙度和渗透率，深层烃类储集体有效孔隙度随深度的增大而增长。这是因为，虽然深层岩石的孔隙度随埋深而减少，但因次生作用的缘故，在深层仍然存在着型式多样的储集体，有孔隙型、裂缝型、溶洞—裂缝型、孔隙—裂缝型及其他类型的碳酸盐岩和碎屑岩储集岩体。例如桑托斯盆地，其储集层埋藏较深，阿尔布阶的下 Guaruja 组是碳酸盐岩储集层（表 4－1－8），其中 3 个层位的原始孔隙度均达到 12%以上；而上土仑阶的 Itajai 组的 Ilhabela 段在 4 700 m 处其平均孔隙度为 21%，在 4 900 m 处为 16%。因此这个盆地说明深层仍可保留较高孔隙度。

表 4－1－8　深层裂谷盆地的储盖层特征

特征 / 盆地名称	生油层	储集层	盖层
英荷盆地	1. 上石炭统煤系地层的煤及伴生碳质页岩 2. 下侏罗统海相泥岩	1. 赤底统风成河流砂岩 2. 二叠系河流砂岩 3. 上石炭统河流砂岩体	上石炭统、二叠系、三叠系的区域、半区域盖层。泥岩、蒸发岩
马拉开波盆地	下白垩统的 Laluna 组页岩	1. 始新统的 Mircder 组及 Misoa 组砂岩 2. 中新统的 La、Rosa 组及 Lagunillas 组砂岩	区域盖层是上白垩统长龙组泥岩
加蓬海岸	1. 盐下 Baneman 和 Melania 组（早白垩世） 2. 盐上的 Juronian（白垩—始新）	1. 下世白垩统河流相盐下储集层 2. Senpnian 组浊积岩	Ezanga 组盐岩是盐下储集层盖层。而盐上储集层盖层则为白垩系深水页岩
尼日尔三角洲	1. 前三角洲沉积的阿卡塔组粘土岩 2. 海陆交互相 Agbada 组页岩	第三系 Agbada 组石英砂岩	Akata 及 Agbada 组内页岩
奥特尼瓜	1. 晚侏罗世裂谷期页岩 2. 早白垩世后裂谷期页岩	1. 晚侏罗世—早白垩世同生裂谷期砂岩 2. 下白垩统河道砂及海底扇	1. 早白垩后裂谷早期粘土岩 2. 后裂谷期页岩
索马里	石炭系—二叠系、侏罗系、下白垩统及古新统、始新统深灰色及黑色页岩、砂岩	石炭系—二叠系、侏罗系、古新统及始新统	区域性盖层有 Varandab 组泥岩及大石膏层

盆地名称＼特征	生油层	储集层	盖层
桑托斯	上白垩统 Guaratiba 组盐丘沉积	1. 上白垩统下 Guaruja 组碳酸盐岩 2. 第三系浊积砂岩	1. Ariri 组蒸发岩是区域性盖层 2. 储集层上部组内盖层
下刚果	下白垩统盐前巴列姆阶湖相有机页岩	1. 盐前碳酸盐岩和砂岩 2. 盐后砂岩	下白垩统 Loeme 组盐岩
西南非洲海岸	上巴列姆阶—下阿普第阶页岩	巴列姆阶和阿尔布阶厚层砂岩为主	储集层之上的页岩
锡尔特	上白垩统 Sirte 组泥岩	储集层分布于基底至渐新统的所有层位中，以碳酸盐岩为主	下始新统 Gir 组形成的局限环境下的蒸发岩、页岩及泥质灰岩，其他上白垩统、下始新统页岩、泥岩是地区性盖层

1）影响深层储集层物性的因素

近些年来，许多国家都获得了关于深层烃类储集体的大量资料。图 4—1—5（a）反映了有效孔隙度随深度而增长的关系，这可以简单地理解为地下深层的岩石形成了次生孔隙。储集岩的类型和孔渗储集性能是沉积环境、成岩作用及构造演化所决定的。事实上随深度的变化，储集层的物性主要取决于以下因素：①机械压实作用，这是普遍的也是重要的因素；②胶结作用、连续重结晶作用及充填作用等；③溶解作用、喀斯特作用、减密作用和裂缝的形成；④压溶作用下碎屑颗粒的溶解；⑤混合水化学作用，比如白云岩化作用、硅化作用及方解石化作用等；⑥异常高压对有效压力起着减荷作用，并促进深处储集体的保存。

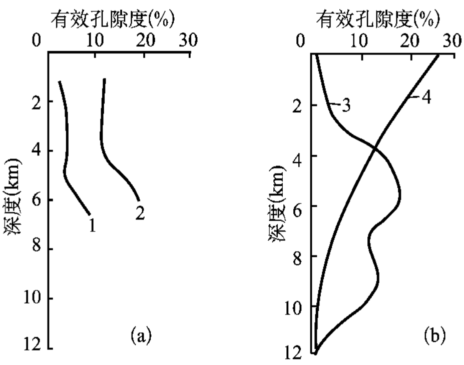


图 4—1—5　有效孔隙度与深度关系
（据 A. C. 胡德）
（a）彼尔姆含油气盆地；
（b）四亿年前的沉积层；
1—艾林别尔戈组（寒武系）；
2—汉顿组（志留系—泥盆系）；
3—次生孔隙；4—原生孔隙

其中减密作用和裂缝形成作用对深层岩层次生孔隙的增长贡献最大。裂缝的形成作用增加孔渗物性在很多文章中都有论述，这里着重指出一点，即深层高温高压条件下对裂缝的形成提供了更为便利的条件，因而寻找深层裂缝油气藏应该成为一个主攻方向。下面着重谈一谈减密作用及

超压对原生孔隙的保存及对次生孔隙生成的辅助作用。

（1）减密作用。在非均衡的应力状态下，当有效应力大于 40～50 MPa 时，岩石具有形变的能力，而当有效应力为 100 MPa 时，形变可达 20%～25%，当岩石饱含烃类流体时，在相同应力条件下，碳酸盐岩的减密作用可增长 2 倍左右。据试验数据的统计处理结果，田吉兹油田和中国北部冀中盆地的白云岩由于形变而减密 1%～3%，田吉兹油田的生物碎屑灰岩和海绵质岩由于形变减密 4%～9%，如图 4－1－6。岩石的减密带和减密作用大致可归结为以下几种因素：①构造物理方面，由地下的非均衡应力状态表现出来；②泥质岩石的脱水作用，被挤出的流体具有很强的溶解能力并影响微裂缝的出现；③饱和岩石流体的腐蚀性，这种腐蚀性随温度的增加而增强，并决定着地壳溶解带的形成。

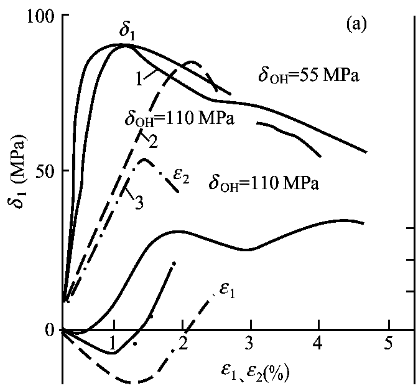


图 4－1－6（a） 白云岩的形变曲线

（据 M. C. ЮНН，徐东梅译，1998）

1—白云岩，DY16 号井，深度 4 201～4 260 m；2—白云岩，田吉兹油田 16 号井，深度 4 821～4 823 m；ε_1—纵向形变；ε_2—横向形变；ε_V—体积形变；δ_{OH}—体积压缩；δ_1—纵向剩余压力

（2）超压对储集层物性的控制作用。异常高压对有效压力起着减荷作用，使上覆岩层的一部分压力直接作用在孔隙中的流体上，尤其当有大量油气生成时更易产生超压，并促进深处储集体的保存。超压对次生孔隙生成的辅助作用主要表现在超压泄漏作用带走了溶解的元素，使硅酸盐水解作用形成次生孔隙得以持续，尤其在断层附近的泄漏对次生孔隙促进作用更大。当然这要求超压系统是一个开放系统，并能够保持这种超压，这就要求有持续的能量提供。超压可以是一个开放系统，这一点 Jansa 和 Helgeson 等人都有论述。

原生孔隙度随深度增大而急剧减小，次生孔隙度则随深度的增大而增大。这表明，虽然深层岩石的原生孔隙随埋深而减少，但因次生作用的缘故，在深层仍存在型式多样的储集体：有孔隙型、裂缝型、溶洞—裂缝型和孔隙—裂缝型以及其他类型的碎屑岩和碳酸盐岩储集体。从表 4－1－9 中可以看出深层的碳酸盐岩储集层以裂缝和溶洞为主，碎屑岩以孔隙型为主。

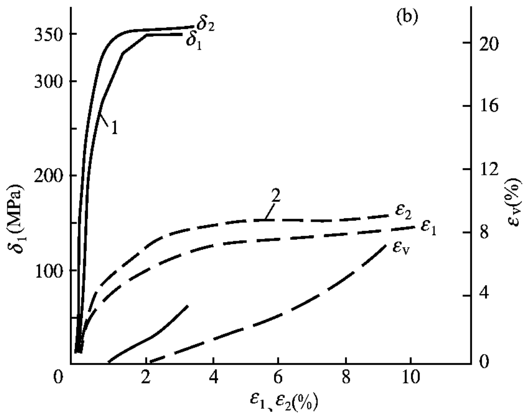


图 4—1—6（b） **石灰岩的形变曲线**

（据 M. C. ЮНН，徐东梅译，1998）

1—碳酸盐硅质岩—海绵岩，田吉兹油田 16 号井，深度 4 876～4 882 m；2—海藻生物碎屑灰岩，田吉兹油田 44 号井，深度 4291～4298 m

表 4—1—9 **不同类型含油气盆地中** 4 km **以下深层储集层特征**

（据 C. П. 马克西莫夫，1984；转引自胡征钦，1988）

盆地（大油气田）及构造		深　度（m）	时　代	孔隙率（%）	渗透率（$10^{-5}\mu m^2$）	储集体物质成分类型	储集体类型	烃产量（$10^3 m^3/d$）
滨里海	阿斯特拉汉	4 100	P_1	9～12	110	碳酸盐岩	裂缝	2～28（7mm 油嘴）
	肯基亚克	3 950～4 540	P_1	4～14	—	碎屑岩	孔隙	—
	卡腊查干纳	5 029	C_1		2 600	碳酸盐岩	裂缝—溶洞	615
伏尔加—乌拉尔	别洛格林	4 020	D	4.5	—	碎屑岩—碳酸盐岩	孔隙—裂缝	
	东乌默托夫	4 804～4 876	D	9		碎屑岩	孔隙—裂缝	270～360
	卡梅山	5 005～5 228	D	2～3	40～100	碎屑岩	孔隙—裂缝	4～19
	安蒂波夫—谢尔巴科夫	4 500	D	10～18	—	碎屑岩—碳酸盐岩	裂缝	90～400
蒂曼—伯朝拉	西索普列斯	4 050	D	10	—	砂岩		100～500
	武克蒂尔逆掩断层下盘	5 091	C_1	4	低	碳酸盐岩	裂缝	500
第聂伯—顿涅茨	普里皮亚特构造	4 350	D	8	90	碳酸盐岩	裂缝	—
第聂伯—顿涅茨	雅布卢诺夫	5 050	C_1	4～20	318	碎屑岩	孔隙	776～1398
	谢别林卡	4 815	C_2	2.6	100	碎屑岩	孔隙	—
	阿尔秋霍夫	达 5 000	C_1	18	达 1 805	碎屑岩	孔隙	—
二叠盆地	特拉华坳陷	4 800	P	7	—	碳酸盐岩	裂缝	—
		5 200	C	5.5	0.1	碳酸盐岩	裂缝	—
		5 100	S—D	10～18	230	碳酸盐岩	孔隙	129～3 000
		5 804	S（法塞尔曼）	2	40	碎屑岩	孔隙—裂缝	688
		4 175～7 200	∈—O	8～10	120～1 000	碳酸盐岩	溶洞—裂缝	2800

西内部盆地	阿纳达科坳陷	4 600 5 260 8 088	C_2 S—D（亨顿） ∈—O	14 10～17 10～17	— 100 100	碳酸盐岩 碳酸盐岩 碳酸盐岩	裂缝 裂缝 裂缝	500 2 600 —
北高加索—曼格什拉克	老格罗兹尼	4 612～4 620	K_2	16～22	50～290	碳酸盐岩	裂缝	—
	列夫金	4 600	E	8	29	碎屑岩	裂缝—孔隙	—
	尤比列依	4 300～4 960	K_2	12～15	达 386	碎屑岩	粒状	
	科舍哈伯尔	5 433～5 497	J	10	10	碎屑岩	粒状	50（6mm 油嘴）
	汉卡尔	5 360～5 460	K_2	0.5	—	碳酸盐岩	裂缝—溶洞	0.149（石油） 148（天然气）
阿姆河	捷詹	4 020	K	11	4	碎屑岩	孔隙	700
墨西哥湾外带	列克—华盛顿湖	6 530	N_2	35	620	碎屑岩	孔隙	1 600
密西西比坳陷	福尔斯河 内部盐盆地	6 075 4 800～6 750	K_2 J（斯马科佛）	26 14～16	1 246 20～50	碎屑岩 碳酸盐岩	孔隙 裂缝—溶洞	569 580
东南墨西哥	卡克图斯，伊利德＋A105	4 120～4 678	K_2	—	达 8 000	碳酸盐岩	裂缝—蚀洞	2 500
阿基坦		4 860	K—J	4	350	碳酸盐岩	裂缝—溶洞	—
中欧		4 320	E，J，P_1	20～25	1 000	碎屑岩	孔隙	—
费尔干纳		4 500	E	17	—	碎屑岩—碳酸盐岩	孔隙—裂缝	—
前喀尔巴阡		4 535	K	7～18	10～100	碎屑岩	孔隙	215

续表

盆地（大油气田）及构造		深　度（m）	时　代	孔隙率（%）	渗透率（$10^{-5}\mu m^2$）	储集体物质成分类型	储集体类型	烃产量（$10^3 m^3/d$）
南里海	木腊	4 800	E	10～12	5	碎屑岩		—
	德汉雷	4 200	K—E	3～20.2		喷发岩	—	—
马拉开波		4 680	K	10	—	碳酸盐岩	裂缝	700

2）孔隙型储集体

孔隙型储集体在碎屑岩储集层中占有重要的地位，在不同深度的砂岩中存在大量的次生孔隙。目前已证实至少有 1/3 砂岩油气层的孔隙是次生的。砂岩中次生孔隙的发现，从理论上为寻找深层油气藏提供了依据，扩大了油气勘探领域，同时深层油气勘探的发展也大大促进了碎屑岩储集体的研究。目前世界上不少地区已在 4 km 以下发现了高孔隙性、高渗透型砂岩油气藏，如墨西哥湾盆地密西西比坳陷的许多气田的白垩系生产层具有特别好的储集性能，储集体是三角洲成因、分选好的胶结疏松的中粒砂岩，在 6 075 m 的深度，孔隙度达 27%，渗透率达 $129\times10^{-3}\mu m^2$，个别井产量达 $160\times10^4 m^3/d$（含凝析油）。气藏压力高，在 6～6.3 km 的深度，地层压力为 130～140 MPa。第聂伯—顿涅茨含油气盆地 4 815～5 425m深度的石炭系生产层，以粒状储集体为主，孔隙度可达 20%，渗透率 $1\ 805\times10^{-3}\mu m^2$，气井产量达 $40\times10^4 m^3/d$。

3）裂缝和溶洞型储集体

裂缝和溶洞是碳酸盐岩储集层中的主要储集层。如在切尔斯克—里海盆地大于 4 km 深度的上白垩统和侏罗系巨厚的碳酸盐岩层中已发现许多油气藏。油藏与断裂背斜构造有关，裂缝、裂缝—溶洞是其主要储集体。

对碳酸盐岩储集岩来说，岩石原始储集性能的好坏，由其形成的沉积环境与相带决定，如浅水陆棚区水体能量强的潮间带和生物礁滩环境下形成的亮晶生物碎屑灰岩，具有较好的储集物性；而在低能开阔海台地环境下形成的泥晶颗粒灰岩，其储集性能相对较差。但在深层中裂缝的形成对岩石孔隙—渗滤性的发育起了决定的作用。次生孔隙和渗透性造成孔隙型、溶洞型和裂缝型的高孔、高渗型储集层的存在，它是在多种因素影响下形成的。

影响碳酸盐岩储集层储集物性的因素很多，首先碳酸盐岩裂缝和孔洞的形成是成岩后生作用的结果，与淋滤作用、重结晶作用和白云化作用有关。促进储集体发育的主要因素是淋滤和溶蚀作用，如表生期沿裂缝运移的淋滤水、渗流水造成了碳酸盐岩风化面附近的溶蚀孔洞的发育，形成了小孔隙、孔隙到各种形态的溶洞和喀斯特的各种孔隙空间。据报道，田吉兹油田 80%～90%的油流主要来自溶洞型储集层；西蒂奥格兰德油田产层有直径 2 cm 的溶洞，而且微裂缝发育，产层的渗透率高达 $3\ 080\times10^{-3}\mu m^2$，单井初产量为 590 t/d。

其次，地层异常高压也是影响储集岩孔隙—渗透性保存的重要因素。显然，随着地层压力的增大，岩石单位体积上所受到的有效压力影响下降，如在西西伯利亚盆地的萨雷姆油田上侏罗统的巴热诺夫组含油地层中，石油被封闭在巴热诺夫组微层理的微裂隙和大裂缝的粘土岩中，该裂缝是高温高压下泥质岩受到较强烈的压实作用而形成的，该组的工业油流也与地层异常高压有关，个别井的石油产量可达 700 t/d。大量的研究工作都得出了地层异常高

压对深层岩石有效空间的形成起着有利影响的结论。实际上，大于 4 km 深度的大多数工业性储集体均与异常高压油气藏有关。

除上述因素处，地层中烃类的存在减缓了储集体中次生变化过程，如果石油完全充满孔隙，那么在强大压力作用下，它就会阻碍机械压实，导致储集岩具有更高的孔隙度和渗透率。

前苏联地质学家 Т. В. Дмцтрцевская 等人对碳酸盐岩平均孔隙度与深度之间的关系进行了统计处理，其结果发现，从 4 km 深处起孔隙度平均值有随深度增大的趋势，由 3%增大到 25%；而到 8 km 深度孔隙度平均值较稳定，为 8%～10%。同时应该注意到大约从 6 km 深度开始，裂缝型储集层的比例可能占优势。但是裂缝型储集层的有效容积相当于孔隙型储集层的 1/50～1/80。所以，在大于 6 km 深度，只有当发现几百米有效厚度储集层的油气藏时，才可能极大地增加油气储量。

俄罗斯的可燃矿产地质与开采研究所近 10 年来对世界各地主要含油气组合中各类岩石在高温、均匀和非均匀应力条件下的变形过程进行了大量的模拟试验工作。认为，在非均匀挤压应力条件下的变形过程中，当岩石变形应力达到一定水平时，松动作用增加，表现为微裂隙、粒间滑动、晶粒重新定位、结构松动。试验表明，变形的结果，碳酸盐岩孔隙空间增加的绝对值最大，达 10%～220%，砂岩—粉砂岩为 0.6%～6%，并且不同的岩石类型其孔隙空间增值不一样。如田吉兹油田生物碎屑灰岩和海绵硅质岩由于变形产生的容积增幅为 4%～9%，而其他某些类型的石灰岩则为 16%～20%，渗透率可增大 70%～150%。并指出岩石松动层和松动带的形成机制有以下几个方面：①是构造物理方面，表现为地球内部的非均匀应力状态；②是泥质岩的脱水作用，因为被挤压出的淡水溶解能力更强，还有由于液体压裂导致的微裂隙的形成；③是由于岩石中的液体的侵蚀性，它会随温、压参数增大。因此岩石松动能力决定于矿化层液体的渗透强度，这样就更好地解释了次生孔隙空间的形成。

总的来看，深层工业含油气性既与碎屑岩有关，也与碳酸盐岩有关，它们存在多种形式的储集体。因此，在对大深度储集岩进行预测时，必须根据裂隙形成的可能强度来评价某确定构造带的沉积剖面。

3. 深层油气藏的盖层特点

由表 4—1—8 可知，深层裂谷盆地的盖层主要有三种，即区域性盖层、半区域性（地区性）盖层及局部性盖层。区域性盖层是指全盆地普遍存在的岩层，如马拉开波盆地的卡龙组泥岩，桑托斯盆地的 Ariri 组蒸发岩都是区域性盖层。而半区域及局部性盖层则为地区或局部存在的盖层，多为储集层沉积之后不久其上沉积的页岩、泥岩或是组内泥页岩。

有关深层油气藏的盖层目前注意得仍很不够，但不可否认深层油气藏的盖层是一个不能缺少的必备条件，尤其对于深层气来说，一个成藏的重要条件是必须有盖层直接覆盖在渗透层上，通常为了保存大的气藏，需要的盖层厚度大约在 0.1～0.2 km。据报道，在大于 4 km 深度，最发育的是化学岩盖层（主要是盐岩，其次是硬石膏）。化学岩盖层受压实作用的程度较小，与泥岩不同，其可塑性随埋深而增大。化学岩最能封堵裂缝，如加蓬海岸盆地的 Ezanga 组盐岩及下刚果盆地的 Loeme 组盐岩，还有索马里盆地的大石膏层（表 4—1—8）。据前全苏石油地质勘探研究所测定，纯盐岩相邻晶格点的距离为 2.8×10^{-8} cm，烃类中最轻的甲烷和乙烷的分子直径分别为 4×10^{-8} cm 和 4.7×10^{-8} cm，几乎大于盐岩晶格点间距的一倍。经计算，盐岩的渗透率仅为 2.14×10^{-3} μm^2 至 8.75×10^{-3} μm^2，可以认为盐岩对烃类来说是不渗透的。因此，深层可靠盖层的发育应与有利于盐岩和硬石膏沉积的蒸发

型沉积作用密切相关。

4. 深层油气藏形成的烃源岩

全球大型裂谷盆地深层油气藏的烃源岩主要是白垩系的泥页岩，其他则多分布于石炭系（表 4—1—8）、侏罗系、第三系中的暗色泥页岩，碳酸盐岩则较少。

深层地层中烃类的聚集基本上经历 2 个过程：一是早期浅层形成的油藏被改造；二是深层分散有机质不断经受深成变质作用而生成新的油气，并运移聚集成藏。

第一个过程为石油的变质过程，它是在高温作用下液态烃裂解并生成天然气，这一过程导致早期形成的油藏被破坏，并最终消失。第二个过程中由于大幅度的沉降，使分散有机质在深层变质作用下生成新的烃类物质。对烃类生成和运移的许多综合分析表明，在某些盆地的 4～7 km 深度内，烃源岩仍发生生烃和运移过程。在此研究深度内，烃源岩的潜力取决于分散有机质的成因类型。例如，不利于油气运移的非补偿凹陷深水相沉积，在深层对于油气生成来说，可能成为有利的烃源岩。越来越多的深层油气勘探证据表明，深源无机成因的油气是存在的，油气的深源有机复合成因说逐步受到重视。其基本观点为地球深层赋存有大量的甲烷、氢气等还原性气体，沿壳幔断裂或岩浆活动向地球浅部运移，并与沉积岩中的有机物发生加氢反应而形成油气并聚集成规模不等的烃藏。因此笔者认为无机和有机生成的油气都是客观存在的。

5. 深层油气藏的油气运移与圈闭

裂谷盆地深层油气藏其油气生成多在白垩纪—第三纪，从而主要的运移成藏期在第三纪，一般是白垩纪的烃源岩到第三纪时其埋深足够大，到达油气形成的生油窗，生成的油气沿不整合面、断裂、孔隙等运移到储集层及圈闭中。运移距离一般不会太大，且多为垂向运移。

深层油气藏的圈闭多种多样（表 4—1—6），概括起来主要有以下特点。

1）与断裂有关的圈闭为主

在裂谷盆地中最为常见。深层油气藏的圈闭大多直接或间接地与断裂有关，特别是断裂产生了大量同生断层，在这些同生断层的下降盘易产生滚动背斜带，从而形成一种十分重要的二级构造带，成为有些盆地圈闭的主导类型，如尼日尔三角洲盆地和锡尔特盆地就是典型例子。尼日尔三角洲的形成是在始新世至中新世，由于断裂作用及三角洲沉积作用，产生了大量的同生断层，与同生断层同时出现了许多滚动背斜，组成滚动背斜带，形成了盆地的圈闭系统。

2）盐丘或盐底群是深层圈闭的重要类型

白垩纪—第三纪出现的盐体活动对圈闭的形成十分重要。这些盐体的运动既为油气运移提供了通道，又直接作用于周围地层产生了盐丘构造及断裂构造。如加蓬海岸盆地、桑托斯盆地及下刚果盆地都是以盐底辟构造作用为主要圈闭类型。一般来说，盆地中与盐体运动有关的油气藏是这样形成的，盐前烃源岩到成熟期后开始形成油气，通过盐体运动产生的通道运移到盐后储集层中，最终到达与盐体有关的圈闭中形成油气藏。

3）圈闭类型多为复合型

即构造与地层共同作用的圈闭居多，而单一的岩性或构造圈闭很少。

五、深部油气田勘探方法

目前深部油气勘探中的主要方法仍是地震勘探，但对地壳深部地球物理的特征来说，深部地球物理勘探方法在盆地的深部地质作用及大地构造的研究方面起着举足轻重的作用。这

些方法主要是航磁、重力、大地电磁测深（MT）、瞬变电磁测深（TEM）、电磁排列剖面（EMAP）、折射波多次覆盖及多方法的综合物探。

1. 深部综合地震勘探

目前，地震勘探仍是油气田深部勘探的主要方法，在实际的研究中，地震资料品质直接关系到深部勘探的效果，然而，影响地震资料品质的主要因素有：地下主要目的层波阻抗差、地震下传能量问题、静校正问题、全程和层间多次波问题、反射信噪比及分辨率问题等等，在此基础上，提高野外采集精度、改进室内资料处理方法就可有效地改善深层地震资料的品质。

1）野外地震资料采集

包括：增强激发能量，可利用多台大吨位可控震源组合激发；增加覆盖次数；加强目的层有效波主频段的激发能量，可采用变频扫描的方法；将震源激发频率向低频扩展；采用大偏移距和长排列的观测系统；利用震、检联合组合压制规则干扰及将检波器串联以提高灵敏度。

2）地震资料处理

应根据研究区的地质情况，在反复试验的基础上，形成一套较完整的适合本区深部地震资料处理方法，以提高研究区地震资料的反射信噪比及分辨率。主要包括加强静校正处理、速度分析与剩余静校正多次迭代处理、加强深部能量、叠前和叠后去噪、组合反褶积及多次波衰减方面。

目前在深部地震资料处理中，超面元叠加对改善三维地震资料质量效果明显。原理是在三维的时间—空间域内，在原三维野外采集的三维面元基础上，重构三维共深度面元，形成超级 CMP 道集，然后进行动校正和同相轴叠加，以提高深部地震资料的信噪比。

3）地震资料解释

应根据多旋回沉积理论，将沉积盆地作为一个地球动力学系统，首先区分出不同世代的盆地原型及其在基准面控制下的沉积地层。同时考虑该套地层在后期的构造运动中所产生的褶皱、剥蚀及沉降，以石油地质学的新理论来综合探讨油气成藏因素。

2. 折射波多次覆盖地震勘探方法

折射波法是俄罗斯地球物理学家们为寻找深部和超深部的油气田而研究发展起来的一种行之有效的技术方法。20 世纪三四十年代曾研究发展了对比折射法，但这种方法只利用折射波初至，激发药量大、排列特别长、施工不方便。到 80 年代，由于数字技术的发展，该方法发展成为三维对比折射波法系统，最早用于目的层埋藏深、结构复杂、地表条件不利、观测面积较小的研究地区。俄罗斯秋明地球物理研究所 80 年代开发了新的折射波多次覆盖法，这种方法是将折射波与反射波同时记录，除了拾取折射波初至外，也利用续至波并追踪回折波，同时利用折射界面鉴别产生反射多次波的层位。施工排列长度一般不超过 15～20 km，每炮激发的炸药量为几十千克。资料处理方面依据不同的对象具有两种不同处理的流程。图 4—1—7 清楚地展示了结晶基底起伏及断层。

三维地震勘探方法在增加探测深度和构造成像方面优于二维地震，但是在观测方法和聚集成像方面需进一步完善。此外，最新推出的反射参数处理系统能同时利用反射和散射能量，因而有助于深层及基底反射的成像。

3. 大地电磁测深

作为地震勘探的重要补充手段的大地电磁测深（MT）法，尤其是面积型或宽线式多次覆盖的大地电磁测深法，在解决深部和结晶基底方面，以及提高纵向和横向分辨率方面有很大的潜力。20 世纪 80 年代，曾用此法划分出了滨里海盆地北部埋深 5 km、厚度仅数米的含油或含水的石炭系碳酸盐岩油气藏。在实验室的模型条件下，用此法能可靠地检测出地下 20 km 处、1 km 宽的近于垂直的导电层。根据贝加尔地区大地电磁测深实际曲线解释的结果，在地壳剖面及上地幔中都发现了近乎垂直的高导电异常体，该高导层可能为莫霍面之下的软流层或与地幔中地震纵波速度偏低的层位相符合。1992 年由俄罗斯地球物理学家 И. А. Я. Яковлев 解释的滨里海盆地结晶地壳和地电模型剖面也清楚地表明，大地电磁法具有查明结晶基底面的起伏变化和发现更深层地壳中垂直和水平的高导电层的能力。

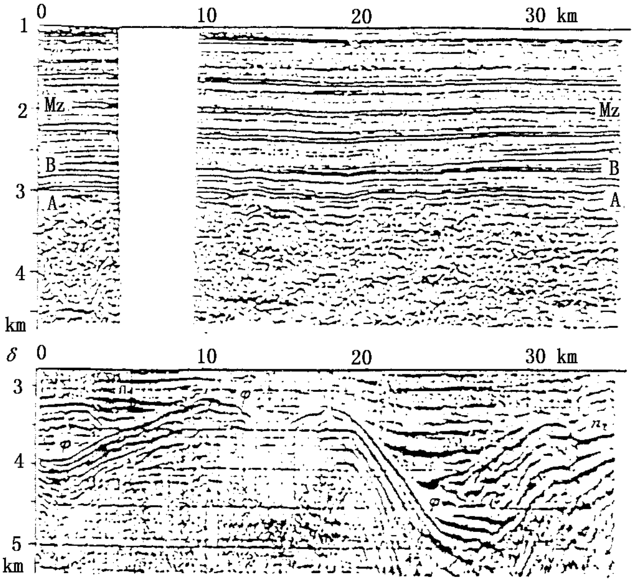


图 4—1—7　西西伯亚盆地反射波多次覆盖叠加剖面（上）和折射波法多次覆盖叠加深度剖面（下）

（据 O. A. Ломаиов，转引自裘慰庭，1997）

4. 瞬变电磁测深

瞬变电磁测深（TEM）法是在大地电磁测深基础上发展起来的，在勘探精度、分辨率和抗干扰、预测岩性探测深度等方面的功能皆显著提高。其特点在于：垂向分辨率显著优于其他电法（深部地层电导值突变大于 10％时就能分辨），静态畸变小，受地表不均的影响小，因而无需进行静态校正，适于在火山岩覆盖区、碳酸盐岩出露和黄土塬等表层静校正困难的地区使用；深度足够大且最佳分辨深度段（3～4 km）有利于深部油气藏的勘探；横向影响小，有利于探测断层的位置和探明与断层有关油藏内的油水边界；适合在高阻剖面所在的油藏内探明油水边界；适合在高阻剖面内探测低阻岩系或在良导体沉积覆盖的盆地内探测深部高阻基底；又因记录仪器轻便，适合在地形复杂区内灵活布置施工，如在丘陵山区、农田水域带进行区域性普查或详查（二维、三维皆可）。

其方法主要是当供电电流较强（～100 A）时，最大偶极距可达 20 km，最小则接近目的层深度值。经过上百次重复发射瞬变式方波脉冲，同时在脉冲间隙中接收信号进行叠加处理并消除突变响应、进行滤波平滑，就可将时间序列变换成为垂向视电阻曲线，其深度误差一般小于 10％～20％，可与电测井曲线十分相似。

建场测深（前苏联习惯的称呼）与此法实为一种，仅在野外数据采集中，仪器组合上略有不同。此法在俄罗斯若干重要探区内已被列入钻井论证的必备资料。

5. 电磁排列剖面

电磁排列剖面（EMAP）法是一种地球物理测量方法，它是根据地表一条线性测线测得

的一系列电磁响应结果而绘成电阻—深度剖面。这种方法采用空间排列数据采集和处理技术，可有效地处理复杂的三维地下构造显示。大多数电磁排列剖面法信号采集和处理技术均与常规大地电磁法相同，但是它的优越性主要在于密集数据采样和对不利的三维构造效应的有效处理，这样就可对电阻率剖面做出可靠的估算。

瞬变电磁测深法和电磁排列剖面法使大地电磁测深技术进入到了一个崭新的阶段。同时由于野外采集系统改进，即模拟地震的时间域采集、处理和解释方法，使得精度大大提高。这两种方法，由于采集点密集，克服了表层静位移，加之电磁法本身具有穿透高阻层的能力，能够清楚地分辨出 3～5 km 以下、厚度在 100 m 以内的低阻电性层。由于分辨率的提高，现在已用其进行旨在寻找石灰岩内部构造、火成岩下油气层追踪等地震方法困难地区的勘探。

目前这种方法已在我国东西部复杂地区开展，应用结果显示，瞬变电磁测深法和电磁排列剖面法是非地震勘探中最具发展潜力的方法，尤其是在获取复杂地区的深部信息方面。

6. 重力和磁法勘探

实际资料表明，在深部油气藏上方常存在相当厚（200～2 000m）的物化性质变化异常区。与浅层介质相比，电阻率可上升 10％～50％，声波时差上升 5％～36％，地震波能量上升 30～3005、视频下降 2.5％，密度、磁感、电极化率值也多有变化。重力和磁法在综合利用这些参数进行深大断裂及揭示横向密度不均匀性方面颇有前景。高精度（30μgal 左右）重力详查（测网密度 100m×100m）效果更加显著。

例如在重力反演方面，利用重力的“特征点”法、“全归一梯度法”等来反演求解密度剖面，该法已用在区分横向密度不均匀性或揭示垂直的深大断裂方面，其作法是利用重力观测资料进行反演计算，求得密度剖面，然后叠合地震和电法资料，进一步划分地层及区别可能的岩性，在此基础上建立密度地质模型。以此作为初始模型，再用正演方法计算该模型的重力值，使正演重力值与观测重力值拟合，使其误差在要求范围之内。

据介绍，俄罗斯 Пангея 公司用此法在西西伯利亚西北部密度剖面上拟合出了一个埋深 6 km、厚度达 2 km 的巨型礁体，引起了轰动。

深大断裂通常呈现较强的磁异常带和重力高值异常带，因此在断裂发育的探区和深中块体结构的研究中应充分利用航磁和重力资料。

7. 综合勘探技术

对深部油气勘探而言，更趋向于向多学科结合、综合应用的方向发展。如采用将地震勘探与重、磁勘探结合、地震勘探与大地电磁勘探资料结合、非地震三维地球物理勘探与三维地震勘探技术结合等综合地球物理勘探方法，以及近地表化探与地震资料的综合应用，都会极大地推动深部油气勘探。目前成果较为显著的是地震与大地电磁资料的结合，它们成为深部油气勘探的有效方法。

从上例的分析中可以看到：地震剖面的解释效果可以结合大地电磁测深法测量的解释成果加以改善，综合研究为深部油气的勘探开辟了广阔的道路。

六、深层裂谷盆地的油气储量分布规律

根据 10 个裂谷盆地的分析，有些面积较小的盆地，由于其丰度较高，可以有较大的储量（表 4—1—10）。而有些盆地虽然面积较大，但其丰度极低，储量有限，如西南非洲海岸盆地，因此裂谷盆地的储量并不与面积成严格的正比关系。

表 4－1－10　全球大型裂谷盆地的面积与油气储量、丰度

特征 盆地	面积（km^2）	油气丰度 （油当量）（bbl/km^2）	最终可采储量	
			油（10^6 bbl）	气（$10^9 ft^3$）
英荷	119 609	105.991	702.2	71 047
马拉开波	61 450	792 924	56 960	21 200
加蓬海岸	181 850	17 172	2 993.9	772.5
尼日尔三角洲	171 580	284 953	35 784	2 200
奥特尼瓜	97 320	10 208	35 784	2 200
索马里	86 750	1 076	2 345	4 403.1
桑托斯	144 000	2 433	507.15	1 524
下刚果	168 000	69 763	10 217.6	9 223.901
西南非洲海岸	380 000	2 206.4	0.48	5 028
锡尔特	472 725	87 209	36 395	28 985

七、小结

（1）全球裂谷盆地的深层大油藏主要分布于白垩系，其次是上古生界；大气藏则主要分布于石炭系—二叠系，其次是白垩系及奥陶系。

（2）具深层油气藏的裂谷盆地主要是中、新生代盆地，古生代盆地极少，而深层油气藏的形成期主要是后裂谷期，即形成于早白垩世—第三纪。

（3）深层油气藏的相态分布取决于多种因素，其中温度和压力最为重要，由于温压不同，造成深层油气藏分布具以下特点：在新生代沉积坳陷区，在深 4～7km 处，异常高的地层压力形成大量凝析气藏；且老地台区在深 4～6km 处，分布气藏和凝析气藏；而在 6 km 以下仅见气藏；以中生界深沉积为主的年轻地台区，在埋深 4～4.5 km 处，含油带向含气带过渡。

（4）深层油气藏的储集层型式多样，有孔隙型、裂缝型、溶洞—裂缝型及孔隙—裂缝型等。深层储集岩的存在主要是由于次生作用产生了大量的溶洞和裂缝。其盖层除泥页岩外，化学性盖层（盐岩、石膏）极为发育，而且占据着十分重要的地位。其烃源岩主要是白垩系的泥页岩，其他则为石炭系、侏罗系、第三系的暗色泥页岩。

（5）深层油气藏的油气运移方向以垂向为主，圈闭则大多与断裂有关，另外盐体活动对圈闭的形成亦十分重要，其类型则以复合型为主。

（6）目前深层油气勘探中的主要方法仍是地震勘探，但对地壳深部地球物理的特征来说，深部地球物理勘探方法在盆地的深部地质作用及大地构造的研究方面起着举足轻重的作用。将地震勘探与重磁勘探相结合、地震勘探与大地电磁勘探资料相结合、非地震三维地球物理勘探与三维地震勘探技术结合等综合地球物理勘探方法是今后深层油气勘探的主要方法。

参 考 文 献

王家枢编写．1989．苏联滨里海凹陷盐下地层，油气勘查取得重大进展．地质科技动态，(8)

刘淑萱等著．1992．深层油气藏储集层与相态预测．北京：石油工业出版社

张研农编译．1996．深层含油气领域．石油地质信息，17（2）

A N Zolotov 等，孙为群译，李昭仁校.1989. 对深层油气勘探前景的预测．第十二届世界石油大会论文集

M Wilkinsion 等著，杨玉峰译.1997. 深埋藏阶段与超压泄漏有关的次生孔隙的形成——以英国北海中央地堑 Fulmar 组为例．国外油气勘探，10（2），131—139

B A Соколов 著，夏明生译.1996. 油气地质学领域中五个有争议的问题．国外油气勘探，9（2），186—191

B П Стротанов 著，黄金贵译，景成杰校.1996. 在深层地层中气富集的规律及成因．石油地质信息，(2)

C E Чакаваев 等著，黄金贵译，毛超林校.1996. 哈萨克斯坦深层地层含油气性的预测.石油地质信息，(1)

Л M 佑尔根等著，黄金贵译，毛超林校.1996. 地壳深层地带天然气地球化学性质与含油气的关系．石油地质信息，(3)

M C ЮHH 著，徐东梅译，吴国海校.1998. 对深层储集层类型的预测．石油地质信息，(4)

И C Смаробинец 著，黄金贵译，景成杰校.1997. 深层烃矿藏的分布和形成的地球化学特征．石油地质信息，(1)

P Atверяова 等著，王勋弟编写.1993. 滨里海含油气盆地（省）油气藏形成条件及分布.国外地质，(3)

P T Самвеяов 等著，王金槊译.1996. 深层油气藏的形成和分布特征．石油地质信息，17（3）

Colin Barker，Lvicholas E Takach. 1992. Natural gas constitution prediction in super-deep sandstone reservoir. AAPG Bulletin，Vol. 76，No. 12

Hans R Grnnan. 1990. Rift system can indicate the direction of oil & gas accumulation. World Oil，Vol. 211，No. 5

第二节　温、压与油气成藏关系

地层温度与压力是油气藏研究中 2 个十分重要的组成部分，这 2 个参数对油气的生成、运移、聚集、成藏以及对油气的分布都有重要影响。因此，分析温、压与油气成藏的关系及其规律对油气勘探具有理论指导作用。

一、温、压在油气生成到保存过程中的作用

1. 油气生成阶段

地温是有机质向油气转化过程中的一个决定因素，一个可能的生油岩是否能够生成并释放出石油，其经历的热史是主要因素。一般来讲，总生烃量与时间呈线性关系，而与温度呈指数关系。埋藏初期，地温较低，在生物化学作用下主要生成气态烃类；从某一温度界限起，达到有机质的成熟温度，石油开始大量生成，进入热催化和热裂解阶段，细菌大量死亡，有机质陆续生成石油、凝析气和湿气；最后进入生成高温甲烷的热变质阶段。在油气生成过程中，通常压力没有明显的控制作用，但压力有利于烃类组分的形成和加速有机质向烃类的转化。

2. 油气运移阶段

在油气的初次运移阶段，由于油气的大量生成，生油层中的温、压急剧升高，导致生油层孔隙增大，使油气产生初次运移，当压力达到并超过岩石的破裂压力时，岩石发生破裂，油气的排替能力大大增强。随着烃类从生油岩中排出，压力随之而减小，裂缝闭合。由于烃类处于生烃窗内，继续生烃，生油层中的压力再次增大，岩石再次破裂，油气再次排出，这就形成了幕式排烃过程。从另一个角度上讲，石油和天然气都是能够运移的流体，流体粘度的大小直接反映其流动能力的强弱。温度升高使石油粘度降低、天然气粘度增加，但总的来说，温度升高增加了分子间的活动能力，促进油气的运移。因此，在初次运移阶段温、压都是十分重要的因素。

在油气的二次运移阶段，压力是流体运移的主要外界动力。由静水压力和岩石压力组成的上覆地层的静岩压力，促进流体从高势区流向低势区；强烈地壳运动时期的动压力，造成褶皱与断裂，为油气的运移提供了通道。在盆地的沉降过程中，异常压力区内油气生成中，温、压的增高导致封盖层破裂，从而使油气运移到压力较低的区域。另外，温、压对天然气在石油和水中的溶解度有很大影响，它们决定着油气运移的相态。

3. 油气聚集阶段

压力在背斜、断层、刺穿、遮挡等各种构造圈闭的形成过程中起到了促进作用，并使之成为油气聚集的主要场所，油气能够聚集成藏的一个关键因素就是盖层排替压力的大小。随埋藏深度加大，温、压增高，改变了地下石油和天然气的性质与相态——石油密度减小，轻馏分、低分子烃类增多。在地下深处，地层温度达到油气转化的临界温度后，地层压力越大，油气越易裂解为单相气态，形成凝析气藏。

4. 油气保存阶段

随着埋藏深度增加，地下温度升高，当温度大于 80℃，细菌破坏作用停止，有利于油气藏的保存。但温度过高，进入高温变质阶段，形成碳质沥青、次石墨等高度碳化产物，油藏则难以保存，却可形成纯气藏。温度的升高可影响流体的互溶性，加速油藏的破坏作用和甲烷化过程；相反，压力的增加则使这些作用减缓，并使天然气在液体中的溶解度加大，压力继续增大时，则产生油气相互溶解过程，使油气成为单相，成为比气藏易于保存的凝析油藏。在地壳强烈活动时期，大量的岩浆侵入和喷发，易于造成接触变质；强烈的挤压会引起区域性的动力变质，这些高温、高压作用导致油气藏的强烈破坏。

二、温、压与油气藏分布的关系

研究表明，大量的石油生成于顶部温度范围为 90～100℃的超压层段中，这些层段多分布于盆地较深层位，并具有独立的流体系统（John M. Hunt，1989）。在超压封闭系统中形成的大量油气导致孔隙中的流体热膨胀，使油气运移至相对较低压力的岩层，并在最近的构造和地层圈闭中聚集。在盆地中这些油气聚集区可具有超压、常压或后期上升接受剥蚀又沉降而形成低压，在这些过程中温度和压力都对油气的分布起着重要作用。

1. 压力与油气分布的相关性

地层压力是指地层的孔隙流体压力。在一般情况下地层压力等于地表到地下深处地层水的静水压头，压力系数近似于 1。符合这个压力变化趋势的地层压力谓之正常地层压力，把高于与低于正常变化趋势的地层压力叫异常地层压力，简称异常压力。超压异常压力是指高于正常压力变化趋势的地层压力，反之为负压异常压力。考虑到某些因素，通常把异常压力界限确定为超压异常压力的压力系数要大于 1.2，负压异常压力系数小于 0.9。

研究异常压力，不但要考虑砂岩等储集层中的地层压力，泥质岩中的地层压力也应是研究的对象。因为一个地区有无异常压力，不光指砂岩等储集层的地层压力状况，同样也包括泥质岩的地层压力。盆地中砂、泥岩中的地层压力分布严格受封闭条件的制约，因此绝不能认为在一个盆地中发现了一些正常压力的油气田，就可断言这个盆地就不存在异常压力，因为砂岩的地层压力并不一定反映大段泥岩地层的压力状况。

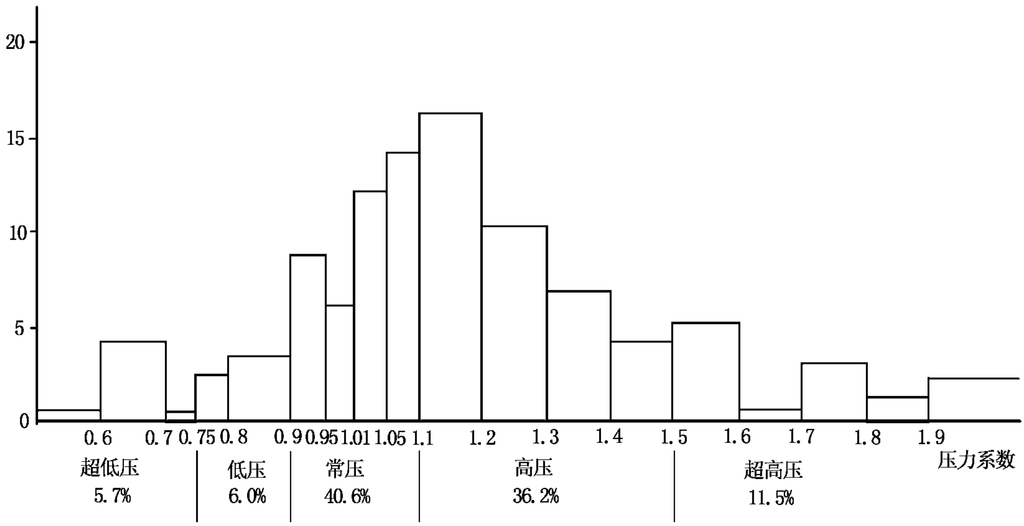


图 4－2－1　部分世界油气田压力系数统计直方图（据陆嘉炎 1997）

据统计表明，超低压与超高压的油气数量较少，低压和高压的油气田数量相对较多（高压占 36.2％），而常压的油气田较多见，占总数的 40.6％，可见世界上的油气田绝大多数具常压特征（图 4－2－1）。特别需要指出的是，在世界 12 个储量大于 1 000×10^8 m^3 的大气田中，除美国的潘汉德—胡果顿气田和前苏联的北斯塔夫罗波尔—佩拉基阿金气田是超低压气田和低压气田外，绝大多数都具有高压特征（表 4－2－1）。这表明异常压力与气藏的相关性很大，而常压则与油藏相关性很大。

表 4－2－1　世界部分大气田压力系数统计（据陆嘉炎 1997）

气　田　名　称	国　　家	压力系数	气田储量（10^8 m^3）
奥伦堡	前苏联	1.54	16 000
沙特雷克	前苏联	1.16	1 344.78
北斯塔夫罗波尔—佩拉基阿金	前苏联	0.765～0.948	2 259.6
谢别林	前苏联	1.02	5 267
克雷斯季什切	前苏联	1.43	1 897
阿恰克	前苏联	1.04～1.12	1 147
拉　克	法　　国	1.704	2 570
格罗宁根	荷　　兰	1.33	21 700
维　京	英　　国	1.06～1.16	1 155
马　里	巴基斯坦	1.15	1 103.7
巴尔斯	伊　　朗	1.71～2.13	8 400
潘汉德—胡果顿	美　　国	0.48	20 390

虽然统计表明大多数油气是常压系统，但是人们也逐渐意识到异常压力与油气有很大的相关性。从另一个角度上看，大量油气的生成是产生异常压力的一个重要因素，这至少说明异常压力带及其周围不太远的区域是有利的油气聚集带。这里需要着重指出的是，不能忽视异常低压油气藏的存在，事实上随着勘探工作的深入，低压异常的发现逐渐增多，并对油气勘探与评价影响也越来越大。在北美的一些盆地中异常低压的分布较普遍，如俄克拉何马、潘汉德地区及科罗拉多州圣胡安盆地、犹他盆地、阿肯色州、阿巴拉契亚区以及加拿大阿尔伯达的下白垩统维金层都普遍存在低压油气田。

2. 异常压力随盆地埋深的分布

异常低压多位于盆地浅部，而异常高压多位于盆地的深层，更为重要的是，异常压力的保持必须有一个良好的封闭条件，油气藏的盖层就是这样的一个封闭条件，所以在区域性盖层之下的浅层低压区与深层高压区经常是油气聚集的场所。

3. 不同性质盆地中温、压的分布

深层年轻热盆地高压高温带是油气藏、凝析气藏分布的重要场所，原因是年轻热盆地遭受高温高压的时间相对较短而又具备生、运、聚的条件，在这一点上，那些有基底热流的年轻裂谷盆地的深层更具油气藏成藏优势，当然若要形成工业价值油藏，必须有相当厚的储集层。

地温梯度低（1.5～2℃/100 m）的盆地，石油形成主相移到了深处。尤其是一些年轻盆地，石油相的下限可下降至 6～8 km，因而这些地区的深层有油气成藏的良好前景（胡秋平等，1998），即冷盆深处通常具有良好的油气勘探前景。

4. 热动力带对油气藏分布的控制作用

为了搞清温、压条件对沉积岩中烃类物理、化学状态的影响及油气藏纵向分布的关系，前苏联的 B. B. 巴依巴科夫等人收集了苏、美、英、法等国不同类型含油气区的 220 个油田、油气田、凝析气田及气田的地层温度与压力资料（选用第一口探井或油气田开发初期钻井资料），编制了油气藏的相态分布同地层温度、压力的关系，并把地壳沉积岩剖面分为具不同油气相态的上下 2 大热动力带（图 4—2—2）。

（1）上部动力带：深度在 1 500～1 800 m，地层压力通常在 15～18MPa，温度在 15～80℃，此带中有地蜡、地沥青，原油相对密度为 0.8～0.9 的油藏及气藏。上部热动力带由于温、压不高，热动力条件是次要的。

①点线 9 将重油藏分布区及气藏分布区分开。少数落入气区的油藏一般已遭破坏（如科哈诺夫卡及基宾兹等油田）。

②此带中几乎未存在轻质油藏及凝析气藏。

③此带的气藏大多数为次生的，即由于深层油藏被破坏而形成。

④此带的石油为氧化的环烷—芳香族油，轻质馏分含量少于 18%。

总的来看，对于上部热动力带，油藏的分布主要受油气生成条件、运移、聚集过程、油气形成与保存的地质因素，以及油气发生的二次物理化学作用所控制，由于温度、压力不高，热动力条件是次要的。

（2）下部热动力带：相当于变质作用带，此带中油气的分布主要取于地层温度与压力。如图所示，当地层压力为常数，温度的增加导致重质油藏被轻质油藏、凝析气藏及气藏所更替。

①当压力为 25 MPa 时：若地层温度为 30～70℃，发育油藏，石油相对密度等于 0.7～

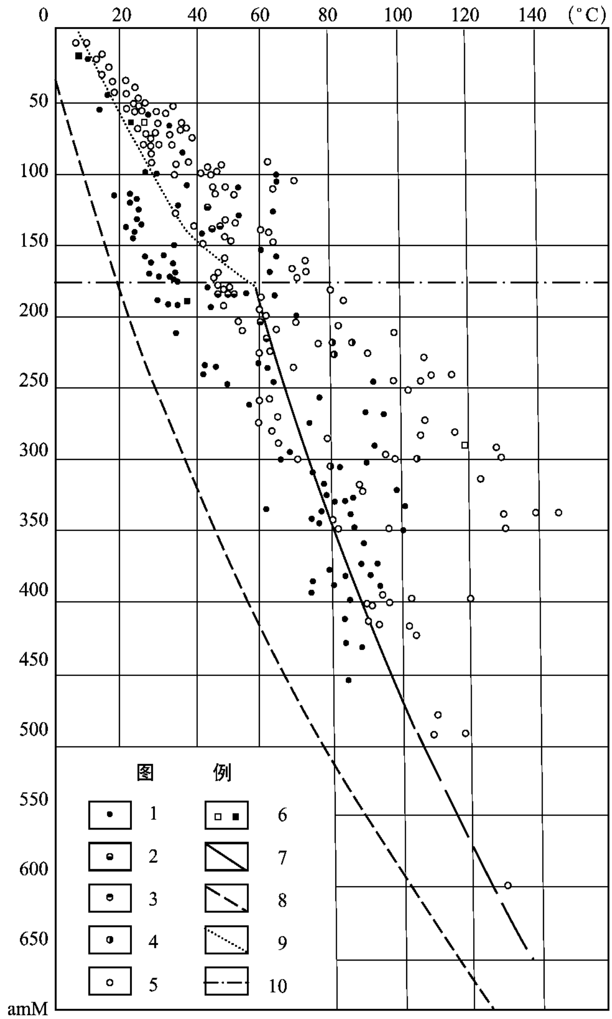


图 4—2—2 油气藏在地壳沉积岩系中的分布与地层温、压的关系

（据 B. B 巴依巴科夫等；转引自刘淑萱，1983）

1—油藏，地层石油相对密度为 0.8～0.9；2—油藏，相对密度为 0.7～0.8；3—油藏，相对密度<0.7；4—凝析气藏；5—气藏；6—地蜡与地沥青；7—划分石油相对密度为 0.7～0.9 的油藏分布区同相对密度<0.7 的油藏、凝析气藏及气藏分布区的界限；8—含油气盆地沉积岩系中存在的最小温、压曲线；9—在上部热动力带中划分石油发育区同烃类气发育区的曲线；10—后生变质作用带的上界

0.9；温度为 70～90℃，发育凝析气藏；温度大于 90℃时，基本为气藏。

②当温度为常数时，随着压力的增加，发现气藏被凝析气藏、轻质油藏、最后被重质油藏所代替。这是由于地层压力对沉积岩中碳氢化合物的解体速度产生阻碍作用。在正常地温梯度区，静水压力下油藏可存在的深度很大；而在高地温梯度区，只有在异常高压时，才存在很深的油藏。

③随着地层温度及压力增长，使相对密度为 0.7～0.9 的油藏范围缩短（相应图中曲线 7 与曲线 8 的范围）。地层压力为 60 MPa 时，相对密度为 0.7～0.9 的油藏存在的温度区间为 100～125℃。当地层温度、压力进一步增加时（相应深度 8～10 km 处），此油藏分布区消失。

从图 4—2—2 中可以看出，当地层压力（大气压）/温度（℃）之比小于 3.15 时，烃类的相态为气；而大于 3.75 时则为油，介于二者之间多为凝析油。因此，含油气盆地沉积盖层的热力条件（地层压力、温度）在下部热动力带中对油气藏相态的纵向分布起控制作用，其中温度是主导因素。不同类型的含油气盆地因其温、压体制不同，油藏分布的深度下限也不一样。温、压体制主要由盆地的大地构造属性所决定。

5. 温、压对油气相态及成藏模式的影响

油气藏是由多种烃类及非烃类组成的多元体系。储集于圈闭中的多元烃类体系在地下呈现什么相态，是油藏、是干气藏还是凝析气藏，取决于生、排、运、聚至该圈闭的烃类组成（C）、该圈闭所处的地层压力（p）、地层温度（T）。物理化学家们用 p、V、T 相图加以二维表达。即当组成 C 是一个定值时，一个坐标取压力，一个坐标取温度，构成一幅完整的体系 p、V、T 相图（图 4—2—3），图 4—2—3 中明显地标明了体系的三种相态区域界线。

当已作出某油、气藏的相图，并已知该油藏温度及压力时，就可以用相图（图 4—2—3）来判断该油气藏属哪种类型的油气藏了。例如，若油藏温度、压力处于 J 点，在这一压力、温度下，该烃类体系是单一液相即纯油藏，I 点为该油藏的原始饱和压力，L 点代表了一个有气顶的油藏，F 点代表着纯气藏，A 点代表凝析气藏，其原始压力高于临界压力而地层温度介于临界温度与临界凝析温度之间，该体系在原始条件下以气态存在，投产后，当压力降至 B 点以下时（即压力低于上露点压力时），气相中会有液相析出而形成凝析油。

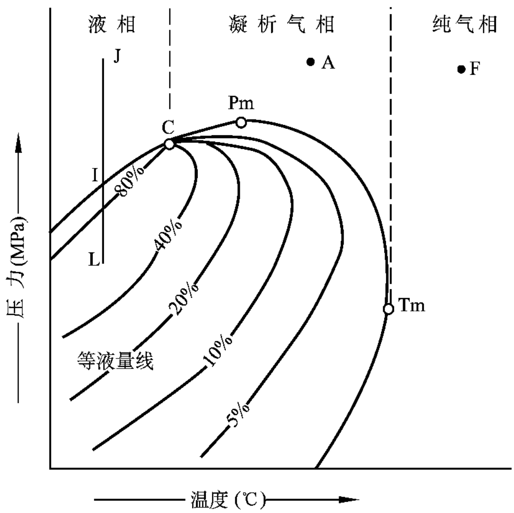


图 4—2—3　多组分烃体系相图

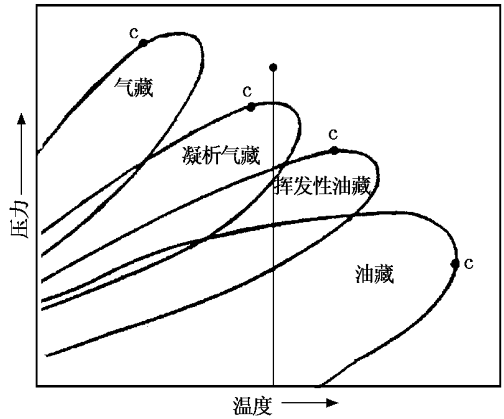


图 4—2—4　油藏流体的相关曲线

可以利用多组分体系 p、V、T 相图的包络线判断油藏类型（图 4—2—4）。随着体系中重烃含量的增加，相包络线位置向右下方偏移，相包络线上临界点的位置及油藏的温度决定了油藏流体类型，即油气藏类型。图中所示的油藏烃类体系有气藏、凝析气藏、挥发性油藏和油藏。由气藏到油藏，这些体系的平均分子量在逐渐增加。

不同类型烃类组成体系在特定温度、压力下的相态不同，则在不同环境下成藏模式就不同。典型的实例就是塔中地区的成藏模式，利用 p、V、T 图计算出的凝析气藏形成期结果如表 4—2—2。

表 4—2—2　塔中地区凝析气藏形成期计算结果

气　藏	层位	井　深 (m)	地层温度 (℃)	地层压力 (MPa)	上露点压力 (MPa)	成藏埋深下限 (m)	成藏时温度 (℃)	成藏时期
塔中 1	O_1	3 659～3 666	119.0	41.98	40.77	3 500	100.5	库车末期
塔中 6	C_{II}	3 710～3 728.9	114.0	43.16	40.0	3 460	99.6	库车末期
塔中 402	C_I	3 582～3 600	104.0	43.33	43.33	3 590	102.5	第四纪初

从实测压力剖面上（图 4—2—5、4—2—6）可以看出，塔中 1、塔中 4 油藏分别处于一个高压封闭的体系，凝析气藏形成于埋深达 3 500 m 的深度，在这样的一个充满油的体系

中，随着埋深的增加，温度的上升使油藏中的油热裂解成气，根据 Barker（1990）的研究，这样一个裂解过程要求一定高的温度（提出的参考起始裂解温度为 111.4℃），该温度值因地而异。根据表 4—2—2，塔中地区凝析气藏形成时温度已处于油向气裂解所需的温度范围。当仅有 1%（体积比）的油裂解时，就会使封闭系统内的压力超过岩石的负载压力而导致破裂的产生（Barker，1990）。据此，塔中地区近期油气藏成藏模式可以作如下总结（图 4—2—5、4—2—6、4—2—7），它较好地解释了该地区油气分布现状，即塔中 1、塔中 4 早

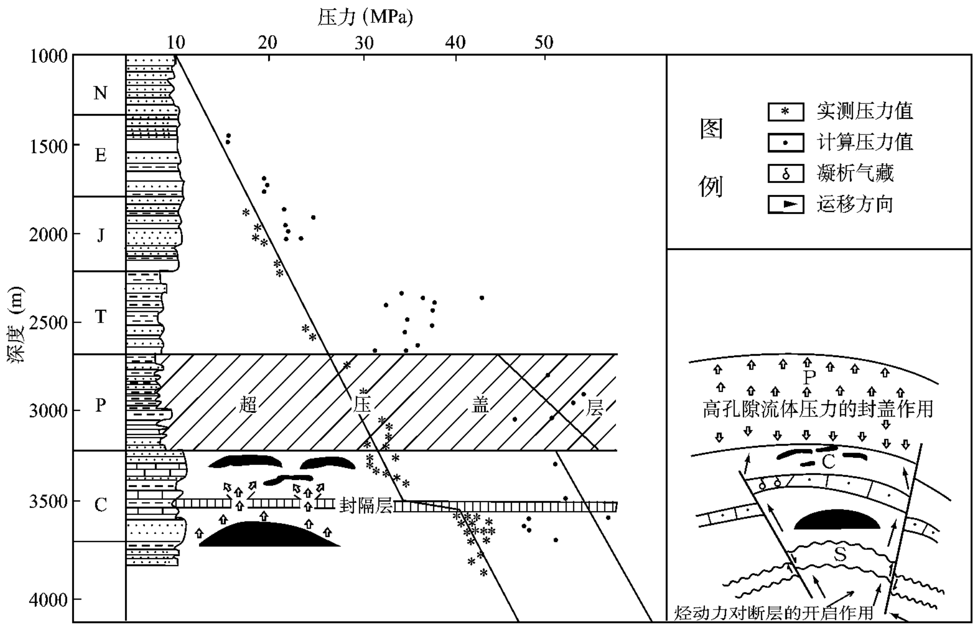


图 4—2—5　塔中 4 井压力结构及成藏模式（引自黄第藩，梁狄刚，1995）

期形成的古油藏埋藏至近期，温、压达到足够高时，开始发生封闭体系内油向气的裂解，由此产生的高压使周围的岩石破裂而导致体系内油气的散失，这种突破散失可以是向上的（如塔中 4 井区），也可以是侧向的（如塔中 1 井区）。

三、温、压对油气藏圈闭及储集层条件的影响

1. 异常高孔隙流体压力对构造圈闭的影响

在以往关于构造形成的研究与实践工作中，有关构造的成因机制内容很少与地层压力（异常孔隙流体压力）联系起来。而关于地层压力的研究与实践又主要是在油气生成、运移与聚集方面探讨异常压力的产生及其对烃类聚集的影响。通过近年来对我国东部和西部诸盆地（南阳、黄骅、鄂尔多斯、酒东、塔里木、柴达木盆地）中含油气构造的深入研究与实践，发现地层压力不仅与油气生成和运移聚集密切相关，而且可以独立地构成地层压力圈闭，它还是许多含油气构造和储集层形成的主要成因机制，并与这些有形的构造共同组成油气圈闭。

沉积压实过程中的异常压力以及许多其他成因导致的异常地层压力是包括各种类型的构造（差异压实背斜、推覆断裂、底辟构造、同生断层和储集层裂缝等由大型到中、小型、微小型的许多含油气构造）的主要动力机制，或在这些构造的形成演化中起到了推波助澜的作用。总而言之，对异常地层压力与构造形成和沉积条件关系的认识与理解，将有助于识别和

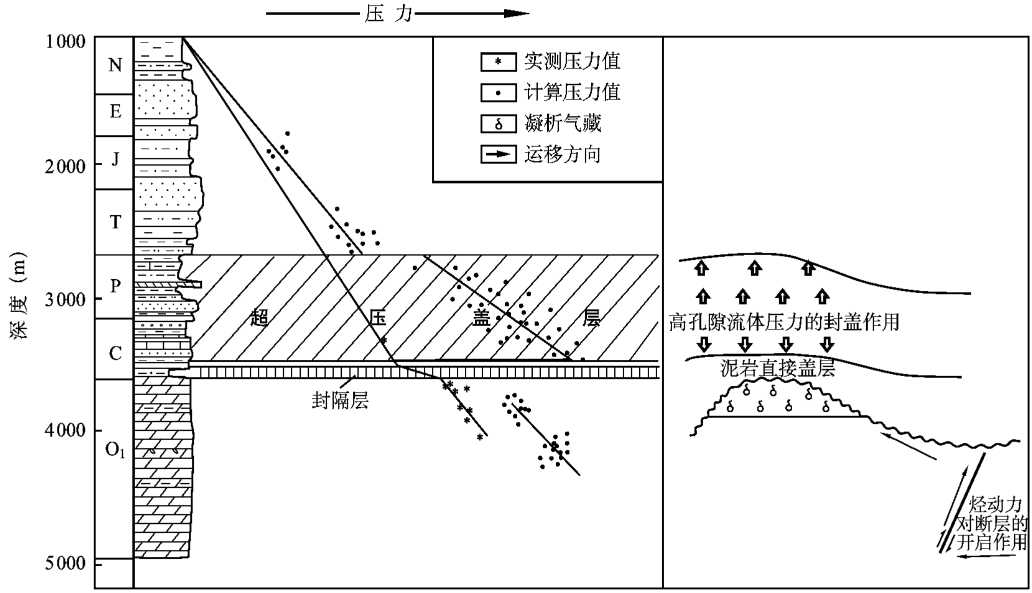


图 4—2—6 **塔中 1 井压力结构及成藏模式（引自黄第藩，梁狄刚，** 1995）

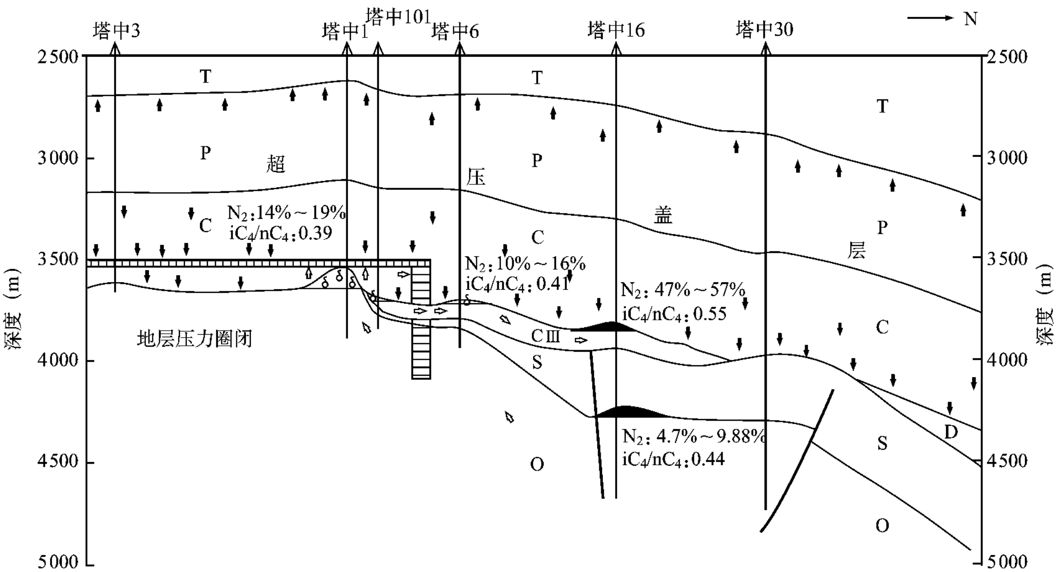


图 4—2—7 **塔中地区油藏剖面和地层压力圈闭（引自黄第藩，梁狄刚，** 1995）

寻找与地层压力发生和发展有关的含油气构造，以及深刻理解可能存在的地层压力圈闭与构造圈闭复合而成的油气藏。

2. **温、压对储集层条件的影响**

在一定深度范围内，储集层孔隙度一般随埋深的增加而减小，这主要是压实作用的结

果，但由于温、压的影响，孔隙度的变化又可以不遵循这一规律。

1）温、压对次生孔隙形成的作用

温、压条件对储集层次生孔隙的形成有重要作用，一定温、压条件下次生孔隙有随深度增大而增大的趋势，例如美国 Delaware 盆地 War—Wink 油田孔渗变化就具有这样的特点（图 4—2—8）。

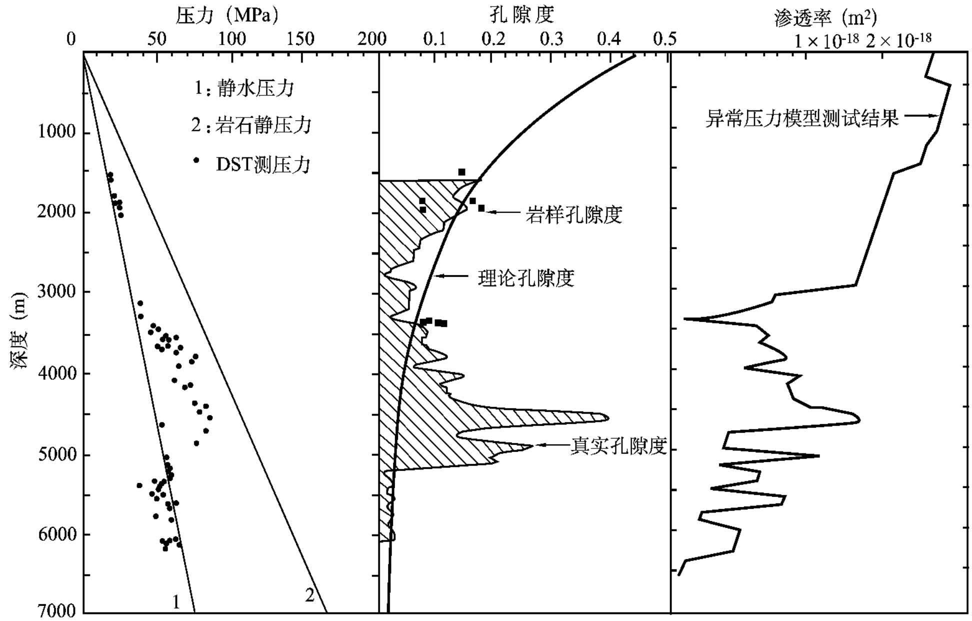


图 4—2—8 War—Wink 油田压力、孔隙度和渗透率随深度的变化关系（引自 Msag Luo，1994）

2）异常高压对原生孔隙的保持作用

异常高压对于储集层保持有效孔、渗起重要作用，这是因为异常高压对岩石颗粒具有减荷作用。

3）温、压对裂缝形成的作用

高温、非均匀应力条件下，岩石易于产生微裂隙、晶粒滑动等现象，这样更加提高了储集层孔渗性能。如南阳凹陷泥岩裂缝型储集层的形成与暗色泥岩性质、异常高孔隙流体压力、局部构造变形作用或断裂作用有关。其中高孔隙流体压力在改变泥岩力学性质、改变应力场分布以促进构造破裂产生，从而形成裂缝型储集层方面具有重要作用。

四、异常压力体系

体系是指若干有关事物或某些意识相互联系而形成的一个整体。当地层孔隙流体除存在着正常的静水柱压力外，还具有超压或负压的流体压力时就组成了孔隙流体异常压力体系。根据异常压力的形成、演化、展布以及对油气运移、聚集的不同控制作用，可以将异常压力体系划分为封闭型与部分（半）封闭型 2 个亚体系。

封闭型异常压力体系在垂向上有成岩形成的碳酸盐岩致密封隔带。封隔带的形成与分布受原岩的位置、母质类型、地温梯度以及有机质热演化程度的影响。体系可以是单一式的，也可以是叠合式（垂向上由封隔带分隔的几个异常压力带组成）的。对这类异常压力体系而言，正常压力油气藏均分布在体系的上方，而在体系内部的油气藏均为异常压力（超压或负

压）油气藏。

部分（半）封闭型异常压力体系垂向上缺乏良好的碳酸盐封隔带，异常压力带一般出现在大段泥岩或以泥质岩为主的层段中。大段泥岩的中间部分因压实不平衡等因素超压，而在其顶、底部邻近砂岩等渗透层的泥岩，因属正常压实而实现其对其中间超压部分的部分（半）封闭。在这类异常压力体系中，可以仅有一个异常压力带，也可由2个以上异常压力带组成，但是在不同异常压力带之间是由正常压力带进行分离，组成了正常压力与异常压力交替间隔状的异常压力体系。目前在这类异常压力体系中仅发现了超压异常压力带，但在特定的地质条件下，同样也可以产生负压异常带。由于体系的封隔性不如具有碳酸盐屏障的封闭型异常压力体系，所以其异常压力偏离值要略小一些。辽河西部凹陷及苏北金湖凹陷超压带的压力系数仅1.5～1.8，在这类异常压力地区油气主要分布在异常压力带之间的正常压力带中，所以在这些地区的油气藏是以正常压力油气藏为主，在异常压力带中也有一些超压油气藏，但规模一般较小。

五、异常压力体系对油气运、聚的影响

异常压力体系是一些含油气盆地发展到一定阶段的必然结果，它将随着盆地的演化而形成、发展，直到最后消亡。综观异常压力带的分布特点，就可以清楚地发现异常压力体系的产生与含油气盆地中有机质热演化阶段的生物气后期至生油气的高峰期一致，这一巧合却又绝非偶然，使得异常压力体系对油气的运移与聚集过程有着相当重要的作用。

1. 封闭型异常压力体系

在 R_o 为0.4％～0.5％的地层中，下方地层里的有机质已进入生油窗，这个封闭型异常压力体系犹如一个庞大的“油气发生炉”，随着地温的增加，有机质源源不断地生成油气，而生成的油气又被适时地封存在这个体系之中，以伺机聚集成藏。随着体系深埋，流体不断超压，体系内的大量油气将跟随着地层水在流体势的驱动下运动，按运移及成藏的总体顺序，体系内油气经历了3个运移阶段。

1）体系中带内运移

体系内各异常压力带中自生的油气以溶解或游离状态在压力场的作用下在带内进行不规则的环状对流运动及短距离运移，也可随着封隔带的变迁，在带内向上部扩展。带内运移的结果，部分油气在带内聚集成藏。这类天然气（石油）藏均具有异常压力的特征，如川西川合100井须二气藏及十屋断陷小五家子构造的上、下五家子组负压油气藏均属此列。

体系内油气藏虽然成藏在“油气发生炉”中，油气来源十分丰富，但受温度、孔隙度、渗透率等条件的制约，异常压力带里仅有较少部分油气聚集成藏，而众多的油气则呈溶解或游离状散布在体系之中，就像在川西、松南十屋断陷的异常压力带中见到的那样，油气显示十分普遍，但工业油气藏则不多，且规模较小。

2）体系内带间运移

体系内流体压力不断超压，当其达到使带间封隔带破裂时，油气就会向另一个流体势能相对较小的带运移。若带间封隔带较厚，并包含一些良好储集层时，在带间运移时也能在其间成藏。故油气带间运移的结果不仅能使异常压力带里的油气藏进一步富集，还能形成封隔带油气藏。

3）体系外运移

突破封隔带进入正常压力带的油气在输导层内经侧向、垂向运移而聚集成藏。这类油气藏虽位于油气未成熟带，但由于深部多期供应的游离或溶解状态的大量油气，加上运移条件

良好，孔、渗较高，甚至可形成规模较大的油气田，且产能较高。

封闭型异常压力体系不仅对油气的运移方式、时间以及油气富集等因素具有明显的控制作用，而且在油气聚集成藏方面还有2个极其重要的作用。一是油气保存条件好，特别是大量早期生成的油气能得到及时的保存，避免了过早地散失，这对于圈闭形成相对较晚的地区尤显重要；二是保留了一部分孔隙，保存在体系中早期生成的油气要占据一部分孔隙空间，这样就可以使这部分孔隙免除成岩作用的压实。

2. 部分（半）封闭型异常压力体系

部分（半）封闭型异常压力体系一般是在连续沉降盆地里以泥质岩为主的层段中因压实不平衡产生欠压实超压而形成的。含油气盆地中烃源岩一般均存在于欠压实层段里，欠压实带逐步深埋，烃源岩也先后步入生烃门限及主生烃阶段，带内流体压力不断超压，在压力场的作用下，带内已生成油气将随着地层水进行带内运移，并有部分油气在带内的砂岩透镜体等一些具储集条件处富集成藏，成为部分（半）封闭型异常压力体系中的带（体）内油气藏。此类油气藏一般规模较小，但单井生产能力不一定低，具异常压力是这类小油气藏的特征。例如辽河西部凹陷的兴92井，层位沙三段，日产油20.3 m^3，地层压力系数为1.24。

当欠压实超压带内流体压力增大到与上、下端正常压实岩层间的压力差足以克服流体在其中渗流的最大阻力时，超压带就会向正常压力带（输导层）排出流体，带内已生成的油气将会与地层水一起或单相排出，这是一种缓慢的体外运移。若带内流体压力达到泥岩破裂压力时，也可产生向体外突发运移。这2种运移方式的结果，油气将随着地层水在正常压力的输导层（2个超压带间的正常压力带）作进一步的运移聚集，油气来源、圈闭等条件许可时就有可能形成大油气田，辽河油田的主体油气田就属于这种类型。

部分（半）封闭型异常压力体系向外排放流体时的主排方向，也就是油气的主运移方向，主要决定于欠压实异常压力带的形态——最大流体剩余压力面所处的位置。辽河西部凹陷异常压力带下带、苏北金湖凹陷闵桥地区异常压力带及泌阳凹陷核三段异常压力带的最大流体剩余压力面均位于带的下部，故它们下方的正常压力带就成为流体的主排方向。

这类异常压力体系对油气的另一个重大作用是体系中的异常压力带一般均为含油气盆地的一种十分重要的盖层——压力盖层。辽河西部凹陷以沙一段为主的异常压力带下带就是目前辽河西部凹陷南部最重要的区域性盖层，由于它的遮挡作用，使其下方成为辽河油田最重要的油气富集带之一。

六、异常压力如何影响油气的勘探和开发

异常压力主要是指超压，但也包括低压（欠压），这里对超压的形成机制不做讨论，而着重研究异常压力对勘探风险、储量估计和油气生产的影响。

1. 形成超压的背景

异常压力由低压（欠压）及超压组成，当地层孔隙压力梯度低于静水压力梯度（0.45 psi/ft）时，则出现低压（欠压）（图4－2－9）。低压（欠压）较少见，超压却广泛地存在于世界各类盆地中。超压可分为中等超压（0.5～0.75 psi/ft）和高超压（0.75～1.0 psi/ft）2种，超压的上限即是破裂压力，它等于最小水平应力。在单轴应力条件下，破裂压力接近或等于上覆压力。

超压可能是若干种作用的结果，重要的是认识其主要机制，而主要机制会随盆地内的时空变化而变化，确定当前活跃的超压机制，可能影响对盆地潜力的评价。

2. **有利构造的风险性**

勘探风险性包括：圈闭、盖层、生烃和排烃时间及烃类运移等，所有这些因素的估计对于超压盆地均有意义。

1）**盖层**

每一个超压体系均具有一个盖层，通常称之为顶部盖层，而断裂、相变或成岩作用的结果则形成侧向遮挡，这可以根据侧向压力变化加以推断。顶部、底部盖层和侧向遮挡共同形成了压力封存箱，图 4－2－10 **所示为阿纳达科盆地巨型压力封存箱的实例，其内又包含若干个次级的封存箱。每一个压力封存箱内均可能储存了烃类，因而，很可能在纵向上数个储集层叠加在一起。**

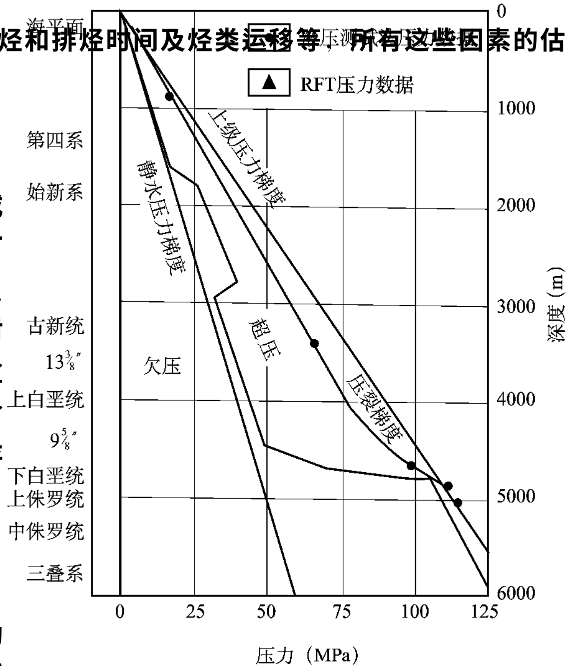


图 4－2－9　**压力—深度交会曲线**

（**引自张义纲**，1991）

2）**生烃过程和生烃时间**

有机质转化过程中产生的超压有助于烃类从生烃岩中排出，北海中央地堑的克默里奇粘土岩是富生烃岩，在超过 10 000ft **的深度目前尚在生气，当钻穿该粘土岩时，有大量气体释放出来，由此表明超压生烃岩亦应看作潜在储集层。作为生烃岩的超压粘土岩具有较高的孔隙度，但是渗透率太低，如果天然裂缝发育，则可成为直接的油气产层。**

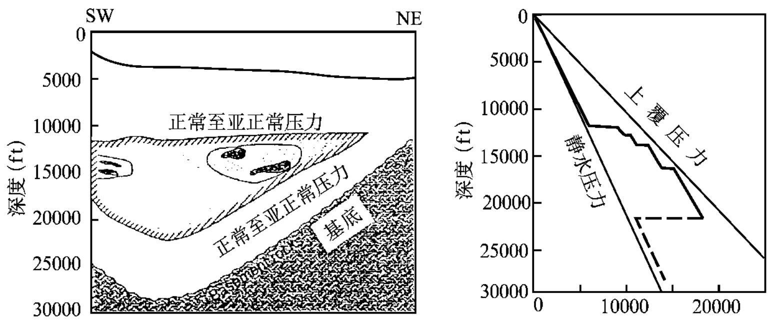


图 4－2－10　**阿纳达科盆地的巨型压力封存箱**（**引自张义纲**，1991）

生烃岩开始生成油气的时间是决定盆地远景的最重要因素之一，在超压体系的封闭环境中，油气生成时间会推迟，如此油气生成的深度要大于普通地化模拟预测的深度。

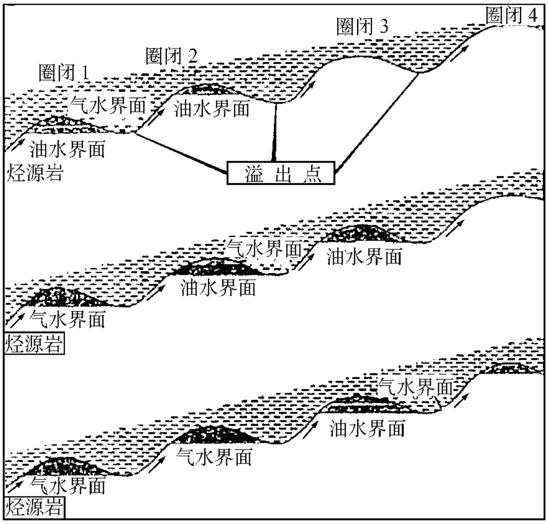


图 4—2—11　Gussow 的油气运移和聚集模式
（真柄钦次 1981）

3）**油气运移**

按照 Gussow 运移模式，生烃岩生成的油首先将最深层的圈闭充满到溢出点，然后向上倾方向继续运移到下一个圈闭（图 4—2—11），当生烃岩由生油变为生气时，气则从下部圈闭开始选择性地取代油。

在动力超压体系内，当超压接近破裂压力时，顶部盖层的微裂缝又会间歇性地张开，这一过程的重复出现很有意义，因为除了可增加运移通道外，天然气趋于优先从构造顶部渗漏（图 4—2—12），如此顶部盖层就起到超压封盖的作用。

有利构造之上若有气存在，则表明该构造内原来充满到溢出点的油尚未被后来生成的气所取代。

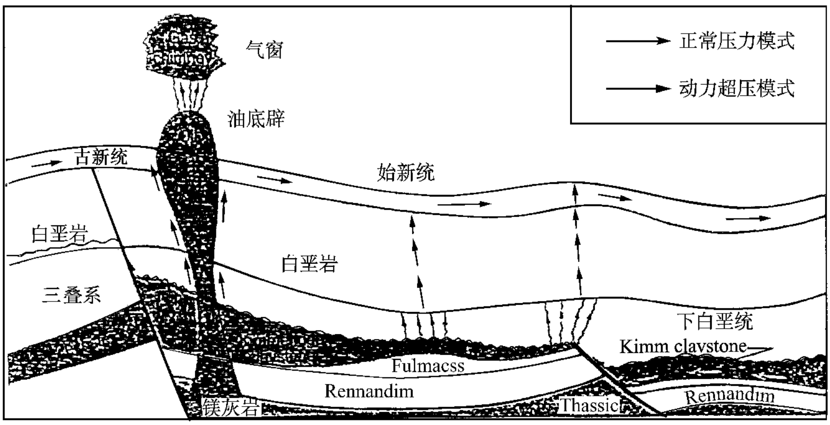


图 4—2—12　超压体系的油气运移路径（引自张义纲，1991）

3. **储量估算**

储量估算是勘探远景评价的关键因素，所用参数包括：构造面积、烃柱、孔隙度、油气饱和度及气膨胀系数或原油压缩率。在异常压力体系中，会受到影响的 3 种参数是：烃柱、孔隙度和气膨胀系数。

1）**烃柱**

最大烃柱高度可依据流体密度和孔隙压力与破裂压力之差计算出来，这一参数对于区分不同构造模式很重要，也有助于确定有利构造是否具有经济价值（图 4—2—13）。

2）**孔隙度**

超压对孔隙度的保持起很大作用，因而由压实失衡引起的粘土岩孔隙度变化曲线，比之正常压实曲线随深度的变化要缓慢多。例如北海中央地堑，超过 150 000ft 深度的砂岩孔隙度仍大于 30%，这是超压抑制了压溶和石英加大的缘故。计算储量时，必须取较高的孔隙

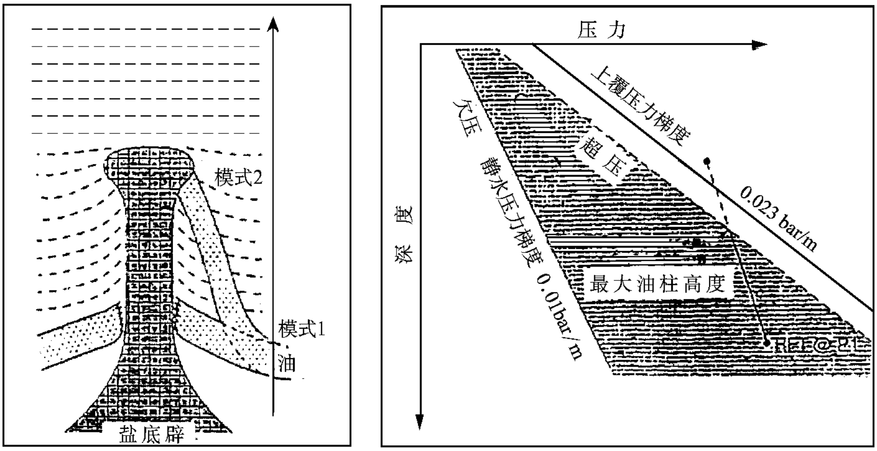


图 4－2－13　对最大烃柱高度的估计（引自黄仙英 1999）

度值。

3）气膨胀系数

超压体系的气膨胀系数（*GEF*）比正常压力体系高得多，如中央地堑深层储集层的 *GEF* 常常大于 300。因为正常压力系统的 *GEF* 为 100，那么，在岩石体积不变的条件下，具超压的有利构造所含的气储量将是正常压力体系的 3 倍。

4. 异常压力对油气田开发的影响

油气田开发阶段可取得丰富的压力资料，因而可用于作对比、断层强度估计及探测水层之下的烃类。

1）对比

评价阶段，压力可为砂岩对比提供确切的资料。如图 4－2－14 所示的实例，在 2 口井可看到一组相似的砂岩，因为它们沉积于相似的环境中。普通电测曲线很难将它们区别开来，只有通过压力对比才能准确区分。

2）断层强度估计

断层封堵性是当前人们关注的问题，尽管可通过计算机进行断层模拟，但惟有检测断层两侧的压差，方能确定其封闭强度。将油—气或气—水界面的高度之差乘以流体密度，所得结果即为断层封堵强度。

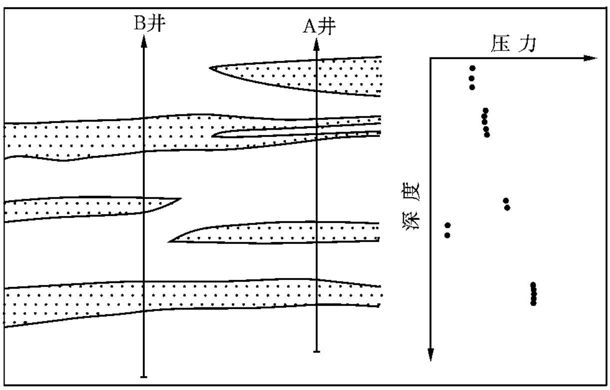


图 4－2－14　压力资料用于砂岩对比（引自黄仙英 1999）

输入储集层模拟的最重要参数之一是：断层是否封堵？在油气田开发过程中断层会由封闭状态变为流体通道。偶然地，从孤立断块的压力和产量变化观察中要推断这种情况。油田开发初期断层是封堵的，但当断块内

的压力比周围储集层下降快而压差达到一定程度时，断层就开始渗漏，油气越过断层流入断块从而使其产量上升。

3）水层以下的烃类

被水层覆盖的烃类尤其是气在美国西部和加拿大均有发现，水层之下的含气层中富集低压（欠压）气。迄今为止，这一现象在北海的探井中还未见到，但却出现在处于开发阶段的油气田中。随着油气的不断采出，油层压力可能局部地下降到静水压力以下，出现这种情况时油气就会垂直向下或顺下倾方向运移到水层之下。通过测得的压力资料找出这样的层段往往可发现大量旁通油气。

七、小结

（1）温、压在油气生成到保存的各个地质时期均具有重要的作用，温度是油气生成的主导因素，而压力则是油气运聚的先决条件。在油气的保存中温、压的相互配置至关重要。

（2）温压的相互作用决定着烃类的相态，当地层压力（大气压）/温度（℃）比值小于3.15时，烃类的相态为气；大于3.75时则为油，介于二者之间多为凝析油。

（3）封闭是形成异常压力的先决条件。一个盆地若无封闭或部分（半）封闭条件的形成，就决不可能产生异常压力。

（4）异常压力体系可分为封闭型及部分（半）封闭型两大类。封闭型异常压力体系能使天然气（石油）在早期就得到很好地保存，避免大量散失，这对于生油气早、圈闭形成晚的地区具有特别重要的意义，其次是控制了油气运移阶段和时间。在这类体系中存在带内、带间及体外3个运移阶段，相应形成了带内、封隔带间及正常压力油藏。部分（半）封闭型异常压力体系对天然气（石油）的运移聚集主要有2个作用。一是决定带内流体（包括天然气和石油）的运移方向，二是组成了盆地的区域性盖层或油气藏的直接盖层。

参 考 文 献

陆嘉炎.1997. 异常压力体系与天然气（石油）运移聚集，石油天然气地质文集（第6集）. 北京：地质出版社，147—155

张义纲等.1991. 天然气的生成聚集和保存. 南京：河海大学出版社

李春光.1992. 试论东营盆地高压油气藏的成因及找油意义. 石油学报.13（1），39—42

真炳钦次著，陈荷立等译.1981. 压实与流体运移. 北京：石油工业出版社

Mark J Osborne，Richard E Swarbrick. 1997. Mechanisms for generating overpressure in sedimentary basins：a reevaluation，AAPG Bulletin，Vol. 81，No. 6，1023—1041

Ming Luo，Mark R Baker，David V LeMone. 1994. Distribution and generation of the overpressure system，Eastern Delaware Basin，Western Texas and Southern New Mexico. AAPG Bulletin，Vol. 78，No. 9，1386—1405

Ulisses T Mello，Garry D Karner. 1996. Developnent of sediment overpressure and its effect on thermal maturation：Application to the gulf of Mexico Basin. AAPG Bulletin，Vol. 80，No. 9，1367—1396

第三节　裂谷盆地岩浆岩的岩石学和地球化学特征

岩浆岩的岩石学和地球化学特征蕴藏了它们形成时的许多信息，因此，这些特征在岩石的形成和演化研究中，以及其形成的构造环境分析方面具有十分重要的意义。

裂谷盆地分布在拉张应力作用下整个岩石圈遭受破裂的地方。大洋中脊、原始洋和大陆上发育的裂谷盆地岩石圈相对较薄。大洋中脊裂谷形成在地壳张开的位置，通常具有 1～10 cm/a 的水平伸展速率。在大陆裂谷，水平伸展速率则十分低。而与俯冲作用有关的弧后裂谷和弧后大陆内裂谷的大地构造背景和伸展速率与上述裂谷有所不同。由于大地构造背景和动力学差异、伸展速率以及岩浆形成过程不同，不仅在火山岩的时空分布、频率和持续时间方面存在着明显的差异，而且具有不同的岩石学和地球化学特征。因此，在盆地分析中可以利用这种特征来分析其大地构造背景及裂谷盆地的形成机制。

一、大洋裂谷

自 1975 年起，一些学者在研究了冰岛 Krafla 岩浆和构造事件后，发现大洋裂谷作用是不连续的。大洋扩张的特征是十分强烈的岩浆活动和在大洋中脊地壳处大规模玄武质岩浆的侵入。因此，研究大洋玄武岩有助于了解上地幔性质、成分及演化。

1. 大洋玄武岩的成分

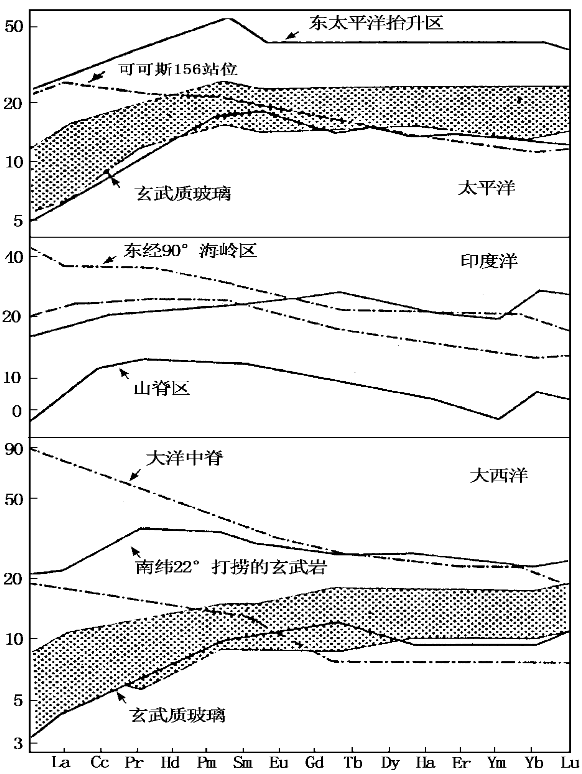


图 4—3—1　大洋玄武岩陨石标准化的 REE 型式

（据 Bryan 等，1976 简化）

近年来，人们一致认为在大洋扩张中脊（正常大洋中脊）处喷出的现代玄武岩中，有一种特殊类型的典型玄武岩，它们被称做深海拉斑玄武岩或大洋中脊玄武岩（MORB）或缺乏大离子半径亲石元素（LIL）的拉斑玄武岩。这些大洋中脊玄武岩具有比较均一的地球化学特征，例如像低含量的大离子半径亲石元素，缺乏轻稀土元素（LREE）（图 4—3—1），低 $^{87}Sr/^{86}Sr$（0.7022～0.7028）（Brooks 等，1976）（图 4—3—2），低 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 比值（小于 8.8，Tatsumoto，1978）（图 4—3—3）和 $^{143}Nd/^{144}Nd$（钕）高于 0.51305（Bickford 和 Van Schmus，1979）。这种缺乏 LIL 的拉斑玄武岩主要是分布在大洋中脊“正常”段中，而在“异常”中脊段，则出现与 MORB 不同的另外类型的拉斑玄武岩。因此，Bryan 等（1976）将大洋玄武岩划分为两类：一类为均质的，由缺乏 LIL 的 MORB 组成；另一类富含 LIL，成分上不同，由来源于不同大洋地质格架的玄武岩组成，此类玄

武岩很容易根据其不同的 REE（稀土含量）型式与第一类 MORB 相区别（图 4－3－1）。

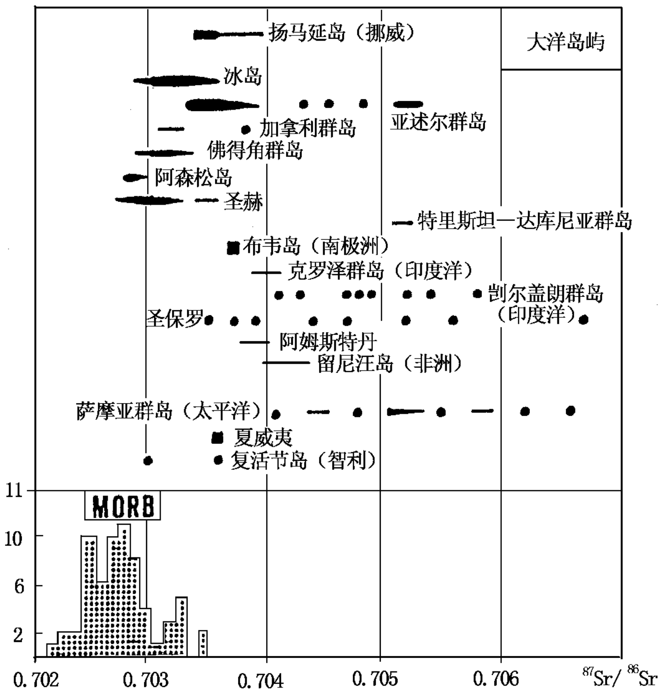


图 4－3－2 **大洋中脊和洋岛玄武岩** $^{87}Sr/^{86}Sr$ **比值**

（**据** Brooks **等**，1976，**引自** Hoffmam **和** Hart，1978）

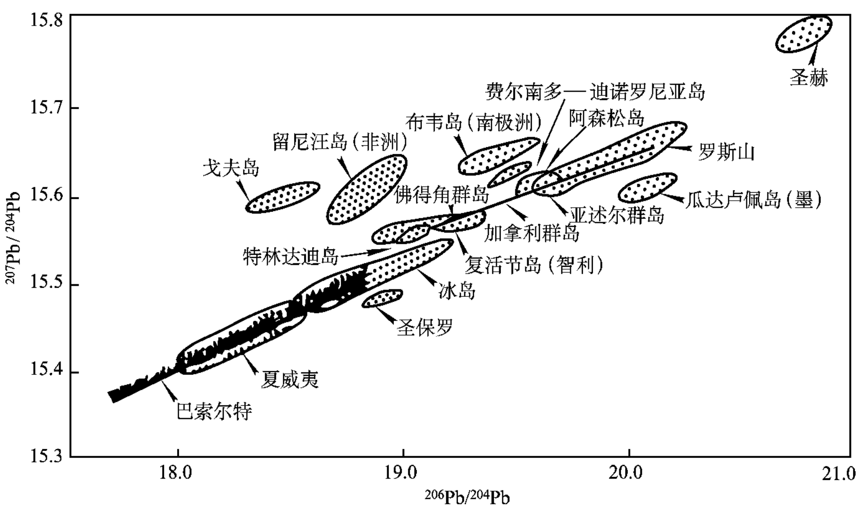


图 4－3－3 **深海拉斑玄武岩和洋岛岩石的** $^{207}Pb/^{204}Pb—^{206}Pb/^{204}Pb$

示意图（Tatsumoto，1978）

大部分的大洋中脊岩石落在玄武岩成分区，中性岩石区（例如铁安山岩或称冰岛岩，低铝安山岩）则比较少，其丰度在“异常”大洋区增加，范围从玄武岩至硅铝质岩石。它们或

者是具有拉斑系列（拉斑玄武岩—冰岛岩—英安岩—流纹英安岩—流纹岩），或者是轻度碱性系列（弱碱玄武岩—夏威夷岩—橄榄粗安岩—歪长粗面岩—过饱和的粗面岩—过碱质的流纹岩），尽管对于冰岛岩提出了它们是较老玄武岩在裂谷带高地温梯度下由局部熔融生成的，但这些岩石一般被解释为是由于伴生玄武岩的浅处结晶分异作用形成。不饱和二氧化硅的碱性火山岩系列常常分布在大洋岛屿中，这间接表明不饱和的碱性玄武岩在大洋扩张中脊顶是缺乏或者十分稀少。碱性玄武岩的少数实例分布在为与转换断层环境（破裂带）有关的洋底。

2. 大洋玄武岩的岩石成因

大部分大洋拉斑玄武岩为其低压流体状态的橄榄石、斜长石和钙辉石所饱和。这表明，它们在喷出到洋底以前遭受过一些结晶分异作用，因而也表明它们不是原生的地幔熔融物。几种地球化学资料（例如，Ni、Cr、Co 含量）同样也表明大洋玄武岩的分异性质。以 Ni 为例，大洋玄武岩一般具有低于 200 mg/L 的 Ni 含量。原生地幔局部熔融物的 Ni 含量被估计在 220～350 mg/L 之间，这些值由于浅部分异作用迅速地减低。

地球化学家认为大洋玄武岩的成分差异反映了幔源垂向上和侧向上的不均质性。地幔不均质性的最好证据是来自于放射性成因的同位素资料。MORB 和大洋岛屿玄武岩中发现的 Sr 和 Pb 同位素存在着系统差别（图 4—3—2 和图 4—3—3）。位于脊顶之上或附近的岛弧玄武岩，除了极少数例外，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值高于 0.070 30，而 MORB 具有较低的值，这被认为是具有来自 MORB 的地幔源，地幔在垂向上是不均质的。$^{206}Pb/^{204}Pb$ 比值的很大变化也被解释为是幔源的同位素不均质性。因此，大洋玄武岩的同位素比值表明，在地幔内存在具有不同成分的源区，这些成分的变化是由于在长期产生的地幔富集和缺乏事件所致。

二、大陆裂谷

大陆裂谷包括主动裂谷（如东非裂谷、西非裂谷）和碰撞裂谷（如贝加尔裂谷和莱茵地堑）等。在上述裂谷火山岩特征中，最具有构造意义的是一类裂谷显示比较弱的火山活动，如莱茵、贝加尔和西非裂谷；另一类裂谷表现出较强烈的火山活动，例如东非裂谷系等。

强和弱火山活动裂谷的特征有很大不同，主要是：①弱火山活动裂谷的喷出岩体积比较小，强火山活动裂谷喷出岩体积比较大；②喷出的基性熔岩性质不同，如 K/（Na＋K）在弱火山活动裂谷喷出岩中比较低，在强火山活动裂谷喷出岩中比较高；③REE 型式不同，强火山活动裂谷轻稀土含量比弱火山活动裂谷低；④火山岩体积和 K/（Na＋K）之间呈反比关系；⑤弱火山活动裂谷喷出岩为基性岩，含少量硅铝质火山岩，其分布为单一模式，这与强火山活动大陆裂谷典型的双模式火山岩（基性和硅铝质双峰值）不同。

与强火山活动大陆内裂谷有关的喷出岩表现出典型的碱性、铁镁—长英质的双模式成分。在弱火山活动的裂谷中，成分与高火山活动有所不同，岩浆岩石组合为强至中等碱性和亚碱性系列，如霞石岩、响岩、碳酸盐岩、碧玄岩、碱性和亚碱性玄武岩。

在上述裂谷的演化中，无论在时间上和朝着轴部方向可以看到喷出的铁镁质岩浆碱性程度降低和大陆拉斑玄武岩增加，这可以归因于在岩石圈进一步减薄作用阶段来源于软流圈的熔融物增加的缘故。

关于与走滑断层有关的裂谷盆地（或拉分盆地）和斜向滑移的裂谷带也表现出火山活动，大型扭动断层切穿整个岩石圈，从而为岩浆运移至地表提供了通道。与转换板块边界有关的大陆内裂谷，属于低火山活动一类，它相当于错开大洋中脊的“破裂带”。火山岩成分由不同程度不饱和 SiO_2 的基性碱性熔岩（从碱性玄武岩至碧玄岩和霞石岩—碧玄岩）组成。

中等碱性至强碱性质进一步表明低地幔局部熔融作用程度低，可能与伸展速率低有关。

三、岛弧

岛弧火山岩主要是安山岩，成分范围可从玄武岩至流纹岩。火山岩的一般特征是斑状的，斜长石斑晶要比含铁镁质相显著。单斜辉石类和斜方—单斜辉石在安山岩中普遍存在。橄榄石分布限于玄武岩和少数玄武质安山岩，角闪石分布在较多硅质的岩石（安山岩至流纹岩）中。

岛弧火山岩存在一系列从低钾拉斑岩至高钾钙碱性岩石组合，它们几乎是平的 REE 型式，低的轻稀土和 LILE 含量（Rb＜15mg/L，Ba＜60mg/L，La＜10mg/L）以及低的 Th/U 比值。主要为钙碱性火山岩，为中等含钾的钙碱性火山岩，其特征是 LREE 和 HREE 与陨石标准化比值分别为 30～60 和 8～10。少数时代新的火山岩具有高的 LIL 和 LREE 值（≥100 倍陨石标准值）。

当低钾拉斑系列岩石和中钾、高钾钙碱性系列岩石共生时，低钾岩石一般较老，高钾岩石则较新。

高 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值（0.7060～0.7061）和低的 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 表明是岩浆岩壳源标志，可能与局部陆—弧碰撞作用有关。

四、弧后裂谷

这种火山活动可以分为 3 种主要成因类型：

（1）早中新世主要是酸性火山活动（凝灰岩和熔结凝灰岩）。这些火山岩的分布可能与早中新世沿着中匈牙利剪切带的大型走滑作用有关。

（2）中中新世—上新世钙碱性火山活动，与俯冲大洋板块有关。其地球化学成分表明具有主动大陆边缘和岛弧型岩浆岩的过渡性质。

（3）上新世—更新世碱性玄武质火山岩，这种火山活动与地区的构造再活动和最新的隆起有关。

五、中国东部裂谷系

中国东部中、新生代构造活动强烈、岩浆活动频繁，中、新生代火山岩广泛分布，是环太平洋火山作用的重要组成部分。东北地区是中、新生代火山岩分布最广泛的地区之一，约占我国东部地区火山岩分布面积的一半，而且火山岩的厚度较大，如辽西义县及大兴安岭某些地区，其厚度可达数千米。这些火山岩主要分布在大兴安岭、老爷岭、长白山以及松辽盆地、海拉尔盆地、二连盆地等盆地周边的广大地区，并且在这些盆地之下隐伏着大量中生代火山岩。

东北地区中、新生代火山岩与中国东部中、新生代火山岩比较，在时间上是火山活动开始最早（始于晚三叠世）、终止最晚的地区，如五大连池地区在清朝有火山喷发的记载。以下着重就东北裂谷系的中、新代火山岩特点进行讨论。

1. 火山岩的时空分布规律

1）中生代

东北地区中生代火山岩始于晚三叠世（T_3），止于晚白垩世（K_2），其中晚侏罗世—早白垩世（J_3—K_1）是火山作用最强烈的时期，其火山岩遍及整个东北地区。早侏罗世（J_1）、中侏罗世（J_2）以及晚白垩世（K_2）的火山岩分布均十分局限，仅分布于局部地区。火山岩呈北北东向展布，按其分布规律，从东南向西北，主要可以分成 4 条火山岩带（表 4—3—1）。

表 4—3—1　中国东部东北裂谷系火山岩分布特征

火山岩带		形成时代	岩石学特征	主要分布地区
中生代（东南—西北）	1. 鄂霍茨克→完达山	T_3—J_2	蛇绿岩带	主要出露于绕河地区的完达山
	2. 张广才岭、老爷岭—长白山	J_3—K_2 主要为 J_3、K_1	玄武安山质、安山质、英安质及流纹质	K_2 火山岩仅出露于此火山岩带，并局限于三棵榆树地区
	3. 松辽盆地及周边	J_1—K_1 主要为 J_3—K_1	J_3、K_1 为一套玄武质—安山质—流纹质	J_3 和 K_1 分布广泛
	4. 大兴安岭	J_3—K_1	J_2 为流纹质；J_3 为流纹质和英安质；K_1 为玄武安山岩	J_2 仅在南部可见
新生代（东—西）	1. 东宁—长白山—宽甸	东宁：N 长白山：N—Q 宽甸：Q		沿乌苏里—兴凯湖断裂分布
	2. 密山—敦化—龙岗山脉	N—Q 局部有 E		与郯庐断裂的北东向分支敦密断裂带一致
	3. 依兰—舒兰—伊通	E		沿依兰—舒兰—伊通深断裂带分布，大致与郯庐断裂的西支一致
	4. 嫩江—五大连池	以 Q 为主，可见 N	出现强碱富钾岩石	与松嫩裂谷带基本一致
	5. 大兴安岭	N—Q		延至太行山
	6. 大兴安岭以西	N—Q		主要出露于海拉尔、二连盆地及其周边

2）新生代

东北地区新生代火山岩与中国东部新生代火山岩比较，在时间上是火山活动最早、终止最晚的地区，火山岩形成时代分为 3 个时期：早第三纪、晚第三纪及第四纪。主要形成时期为晚第三纪和第四纪，早第三纪则少见，而且多隐伏于地下，火山岩主要沿北北东向断裂分布，从东向西可分为 6 条火山岩带（表 4—3—1）。

新生代火山岩不整合覆盖在新生界以前的地质体上，火山岩主要为陆相喷发，而且主要为喷发相，并以溢流相为主，爆发相较少，岩颈相和次火山岩在某些地区较为发育，如伊通火山群等，火山活动具韵律性和间歇性。火山岩以熔岩为主，火山碎屑相对较少。

在晚第三纪—第四纪火山岩中，含有大量的上地幔包裹体和高压巨晶，这一特征是与中生代火山岩的一种重要差异。这些上地幔包裹体是上地幔的天然样品，它们为发生在上地幔中的各种事件提供了重要依据。包裹体的寄生岩主要为碱性玄武岩，少量为超基性熔岩。这些巨晶是玄武岩浆在高压下结晶形成的，它们为研究新生代火山岩的演化提供了有利条件。

2. 火山岩系列和类型

火山岩系列的划分是火山岩岩石学研究中的重要方面。目前，广泛被接受的常见火山岩系列是根据硅—碱图将火山岩划分为两大系列，即碱性系列和亚碱性系列。亚碱性系列又可以进一步划分为拉斑玄武岩系列和钙碱性火山岩系列。造山带火山岩有自己的特点，人们在研究岛弧和活动大陆边缘地区火山岩的特点和划分规律时，提出了钾玄武岩这一概念。它被看作与碱性玄武岩系列相对应的富钾岩石系列，在硅—碱图上与碱性玄武岩系列处于同一个区域。钙碱性火山岩系列和钾玄武岩系列都是与造山作用有关的岩石系列，尤其是钾玄武岩系列在造山带

火山岩中具有重要地位，而和大陆裂谷作用有关的火山岩出现这 2 种火山岩系列。

1） 中生代

（1） 火山岩系列。东北地区中生代火山岩的岩石系列，不同时代（T_3—K_2）没有明显的差异，均以亚碱性系列为主，从整个区域上来看，在最东部的完达山地区的晚三叠世—中侏罗世火山岩和吉林东部延边地区晚侏罗世火山岩均为亚碱性系列，而未出现碱性系列；在四平—辽源地区晚侏罗世火山岩出现碱性系列。在其他地区均以亚碱性系列为主，间有少量碱性系列，虽然有所差异，但未见明显的变化趋势。

东北裂谷系晚三叠世和东部地区中侏罗世火山岩为钠质系列；而晚侏罗世、早白垩世以及西部地区的中侏罗世火山岩除吉林东部地区为钾质和钠质系列外，主要为钾质系列，在时代上从老到新，在区域上从东到西，似乎有一个从钠质系列向钾质系列过渡的趋势。

（2） 火山岩类型。东北地区中生代火山岩有熔岩和火山碎屑岩 2 种喷发类型，并以火山熔岩为主。东北地区中生代火山岩的主要岩石类型为粗安岩、粗面岩（或粗面英安岩）、英安岩和流纹岩，其次是玄武安山岩和安山岩（表 4—3—2），在黑龙江松辽盆地内以及辽河可见到玄武岩。这里需要指出的是，在黑龙江饶河地区 J_2 的枕状熔岩为玄武岩和苦橄玄武岩。

表 4—3—2　东北地区中生代火山岩岩石类型

地　　区	苦橄玄武岩	玄武岩	粗面玄武岩	玄武粗安岩	粗安岩	粗面岩或粗面英安岩	玄武安山岩	安山岩	英安岩	流纹岩
吉林东部		−			+	+		+	+	+
四平—辽源				++	+	+				+
法库—彰武				+	++	++			+	+
辽西北票					+	++	+	++	+	+
辽西义县		−		+	++	+	+	++	++	+
辽西建昌		−			+	+				
松辽盆地		−	++	++	+	+	+	+	++	++
大兴安岭北部				++	+	+			+	++
大兴安岭中部			−	−	++	++	−			++
大兴安岭东南					+	++	+	+	++	++
大兴安岭中南					++	++	−	−		++
大兴安岭南西						+	−		+	++
镶黄旗				−	+	+				++
黑龙江东部	+	++					−	++	+	+
黑龙江西部		+	−	+	+	−	+	+	++	++

注：−表示含量较少. tif，+表示含量一般. tif，++表示含量较多。

2） 新生代

（1） 火山岩系列。东北地区新生代火山岩主要为碱性玄武岩系列，其次为拉斑玄武岩系列，五大连池以东和以西火山岩为钾质—钠质系列，嫩江—五大连池火山岩带火山岩主要为钾质系列，个别为钠质系列。

（2） 火山岩类型。东北地区新生代火山岩的主要岩石类型为碧玄岩和粗面玄武岩，其次为响岩质碱玄岩和玄武岩（表 4—3—3），另外，在个别地区还可以出现副长石岩、苦橄玄武岩、碱玄质响岩、玄武粗安岩及粗安岩。

表 4—3—3　东北地区新生代火山岩岩石类型

地　　区	副长石岩	苦橄玄武岩	碧玄岩	响岩质碱玄岩	碱玄质响岩	玄武岩	粗面玄武岩	玄武粗安岩	粗安岩	玄武安山岩
东宁—宽甸			+	−		++	+			−
密山—龙岗山			+	+		+	+	−	−	−
依兰—伊通	−	−	++			+	+			
嫩江—五大连池	−		+	++	+	+	+			
大兴安岭					+	+				
大兴安岭以西			+							

注：−表示含量较少. tif，+表示含量一般. tif，++表示含量较多。

3. 火山岩稀土元素和痕量元素特征

1） 中生代

东北地区中生代火山岩，REE 配分总的特点是均为 LREE 富集型，明显的负 Eu 异常、弱的负 Eu 异常和无负 Eu 异常均存在。REE 配分模式也反映出随时代的变新，REE 含量有增高的趋势。从晚三叠世—晚白垩世，LREE 含量有增加的趋势，同样在松辽盆地东南缘晚侏罗世—早白垩世火山岩（赵海玲，1994）亦有这种趋势。这一特征可能反映了中生代火山岩，随时代变新陆壳成分的加入逐渐增加。

该区火山岩的一个共同点是 Ti、Ta 高场强元素具有低谷，其中晚侏罗世火山岩的低谷明显，而早白垩世火山岩的低谷则较弱，K、Rb 则均有明显的峰值。这些特征与造山带火山岩不相容元素的特点相似（Thompson，1984），表明该区火山岩与俯冲作用有关，属俯冲型火山作用。这里需要指出的是，早白垩世火山岩和晚侏罗世火山岩在微量元素配分曲线上有一个很大的不同，早白垩世火山岩具明显的 Sr、P 低谷，而晚侏罗世火山岩则无 Sr、P 低谷，甚至有的火山岩表现出了弱的峰值，这一特征反映了早白垩世火山岩与晚侏罗世火山岩之间存在明显差异。

2） 新生代

东北地区新生代火山岩显示出分馏的 REE 分布式样，不具 Eu 异常，大多数分布曲线近于平行。五大连池地区的 REE 分布模式显示出高度分馏的特征，LREE 高度富集（Lav/YbN 比值变化于 39～58），且 REE 总量较高，变化于 278～512mg/L。与五大连池区相比较，位于其西面的海拉尔盆地新生代火山岩以及位于其东面的方正尖山、穆棱地区的火山岩其 OREE 富集程度均较五大连池火山岩低，且 REE 总量也较之为低。因此，从东部→五大连池→西部，LREE 的相对富集程度、REE 总量的相对富集程度和 REE 总量的相对含量，具有一个从低→高→低的对称分布特征。

4. 火山作用与东北裂谷系的形成演化关系

1） 中生代

东北地区晚中生代的火山活动和伸展断陷是由于大洋的俯冲与岩石圈的拆沉或伸展塌陷作用相结合的结果。在晚侏罗世时主要为强烈俯冲作用，早白垩世时由于岩石圈的拆沉或伸展塌陷作用产生了一种挤压背景下的拉张，这已由广泛出露的火山岩和花岗岩得到了证实。早白垩世火山岩和晚侏罗世火山岩在微量元素配分曲线上有一个很大的不同，如：四平—辽源、法库—彰武的火山岩在早白垩世具有明显的 Sr、P 低谷，而晚侏罗世火山岩则无 Sr、P

低谷，甚至有的火山岩表现出了弱的峰值（赵海玲等，1994），这一特征反映了早白垩世火山岩与晚侏罗世火山岩之间的差异。花岗岩的成因类型也反映了它们形成时的构造背景。A型花岗岩是造山后期的拉伸背景下或在大陆裂谷期形成的。在松辽盆地的西部边缘碾子山出露了早白垩世的A型花岗岩，这些A型花岗岩与钙碱性花岗岩共生在一起，这反映了早白垩世时也由挤压作用转变成了拉张作用。另外，在完达山地区见到二云母花岗岩，二云母花岗岩是陆陆碰撞的产物。因此，在东部地区可能已出现了陆陆碰撞，板块俯冲作用消失。此时东北地区处于拉伸，这种拉张形成了如松辽盆地等一些断陷盆地。但这种拉张和大陆裂谷型的拉张不一样，它是发生在挤压背景中的拉张。

2）新生代

（1）典型的大陆裂谷型火山作用。大陆裂谷型火山作用与俯冲型火山作用在火山岩的时空分布、岩石系列和类型、LREE和痕量元素的分布特征上都存在着极大的差异。Condie（1982）认为大陆裂谷型火山作用有3个重要特征，第一，大陆裂谷作用火山岩的岩石系列主要为碱性玄武岩系列和拉斑玄武岩系列，并以双峰式火山岩组合为特征；第二，岩石化学组成呈对称性分布；第三，LREE富集，L/H和$^{87}Sr/^{86}Sr$变化范围较大，反映了未亏损或富集地幔源。

前已述及，东部地区新生代火山岩主要为6条火山岩带，研究表明从东至西其K_2O的含量呈中间高两边低的对称状分布（图4－3－4），其中位于中部的五大连池地区的K_2O含量最高。这种分布状态与俯冲作用火山岩的呈单向的极性分布截然不同。

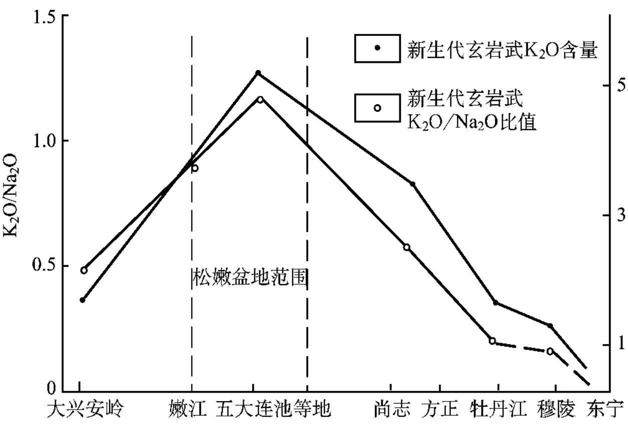


图4－3－4　黑龙江省东宁—大兴安岭新生代火山岩K_2O及K_2O/Na_2O变化（引自陈发景，1994）

新生代火山岩中含有大量的上地幔橄榄岩包裹体、辉石岩包裹体，它们来自于上地幔，同时火山岩中含有单斜辉石、歪长石、角闪石、钛磁铁矿等高压巨晶，它们是在高压下直接从岩浆中结晶出的产物，岩浆能携带比它自己重的上地幔岩包裹体和高压巨晶，表明它们是在一个张裂的构造环境下喷发，而且岩浆上升的速度大于包裹体下沉的速度。

与俯冲作用有关的火山岩TiO_2含量低（＜1.2％），新生代火山岩与俯冲作用火山岩不同，TiO_2含量较高，最低在2％左右，大多数大于2％，具有大陆裂谷型火山岩的特征。由REE配分模式表明，东北地区新生代玄武岩具有LREE富集的特征，反映了一个富集的地幔源，同样这是大陆裂谷作用的特征。

综上所述，东北地区新生代火山岩的特征表明它们形成于典型大陆裂谷的构造环境，属于大陆裂谷型火山作用。

火山岩化学成分判别图更清楚地表现了板内的环境特征。中国东部玄武岩在F_1—F_2投影图上大部分落入板内区（图4－3－5），仅东南沿海一带（如广东麒麟及福建牛头山等地）由于邻近弧后扩张的边缘海，使该地玄武岩有向岛弧及洋底玄武岩过渡的性质。

（2）**大陆裂谷作用和东北裂谷系形成演化之间的关系。大陆裂谷作用导致了岩石圈的拉伸，这是一普遍规律。在东北地区广泛发育的正断层及地堑式盆地是地壳伸展的重要证据，岩石圈的伸展必然导致岩石圈变薄。玄武岩岩浆起源于软流圈顶部，只有沿着岩石圈深断裂才能喷出地表，因此新生代玄武岩岩浆携带上地幔岩包裹体的大量喷发是岩石圈发生破裂的重要证据。**Mergan（1983）、Neugbauer（1983）**指出，地壳的上隆（常为** 1～2 km）**是大陆裂谷区的一个重要特征，它是岩石圈热减薄作用的均衡响应。**

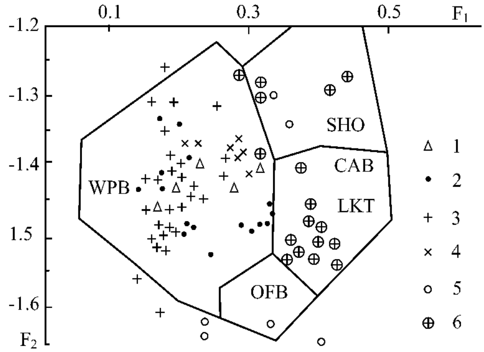


图 4－3－5　**中国东部新生代火山岩** F_1～F_2 **判别图**

（**据池际尚**，1988）

WPB—**板内玄武岩**；OFB—**洋底玄武岩**；LKT—**低钾拉斑玄武岩**；CAB—**钙碱性玄武岩**；SHO—**钾玄岩**

1—**海南岛**；2—**苏、皖、鲁部分**；3—**山东山旺**；4—**河北汉诺坝**；5—**广东麒麟**；6—**福建牛头山**

因此，新生代时期岩岩圈处于拉伸，软流圈上隆，使东北裂谷系继续发育和演化，致使东北裂谷系呈现出现在的面貌。东北裂谷系现今的地形地貌特征，是新生代大陆裂谷作用对其改造的结果。

一般情况下，强碱性或碱性岩浆系列是裂谷前期或初期形成的，而碱性或拉斑系列是裂谷期的产物。由于裂谷的扩张，早期喷发的火山岩分布在裂谷的边部，晚期喷出的火山岩分布在裂谷的轴部地带，形成一种对称的环带状分布，如肯尼亚裂谷南段、里奥格郎德裂谷等。有些裂谷的岩浆系列与上述相反，拉斑系列在前，碱性系列在后，如莱茵地堑的鲁昂地区等。中国东北地区新生代火山岩水平分带的特征类似于后者，裂谷两翼火山岩碱性程度弱，裂谷轴部碱性程度强。根据上地幔橄榄岩局部熔融试验，火山岩碱性程度的强弱和上地幔岩局部熔融程度有关，局部熔融程度愈低，形成的岩浆碱性程度愈强；相反，形成的岩浆碱性程度愈弱。而上地幔橄榄岩局部熔融程度和大陆裂谷拉张作用的强弱有关，拉张作用愈强，局部熔融程度愈高；相反，局部熔融程度低。东北地区新生代火山岩特征表明，东北裂谷两翼地区岩浆形成的深度较浅，上地幔橄榄岩局部熔融程度较高，拉张作用较强；而脊峰地区玄武岩岩浆形成深度较大，局部熔融程度较低，拉张作用较弱。这一特征表明，东北地区新生代的大陆裂谷作用是逐渐走向消亡。

应当指出的是，这种新生代大陆裂谷作用与火山活动可能不是东非裂谷一类的主动裂谷，而是与远离西太平洋高角度俯冲带的大陆内区域伸展作用有关。

综合上述并将国外一些裂谷与东北裂谷系进行比较（**表** 4－3－4），**可以看出松辽盆地晚侏罗世—早白垩世火山岩和第三纪依兰—伊通火山岩与** CRP **中中新世—上新世和上新世—第四纪火山岩相似，分别属于弧后大陆内裂谷和大陆内被动裂谷。**

表 4-3-4　不同类型裂谷中火山岩的岩石地球化学特征

<table>
<tr><th colspan="2">裂谷类型</th><th>实例</th><th>火山岩石地球化学特征</th></tr>
<tr><td colspan="2">Ⅰ. 陆内主动裂谷
（高火山活动）</td><td>肯尼亚裂谷</td><td>火山岩体积大，基性和酸性火山岩发育的双模式火山岩 K/（K+Na）比值小，碱性系列，轻稀土含量富集和稀土总量高，但比低火山活动裂谷要低</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ⅱ. 陆内主动裂谷
（低火山活动）</td><td>东非裂谷
西支、西非裂谷</td><td>东非裂谷西支火山岩体积小，K/（K+Na）比值大，为强烈不饱和的碱性熔岩；西非裂谷中生代火山岩体积小，K/（K+Na）比值大，为碱性玄武岩至拉斑玄武岩</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ⅲ. 碰撞谷
（低火山活动）</td><td>贝加尔裂谷
莱茵地堑</td><td>火山岩体积小，以基性为主的单模式火山岩，K/（K+Na）比值大，碱性系列，轻稀土含量富集和稀土总量高</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ⅳ. 岛弧</td><td>吕宋弧北段</td><td>以中性为主、低钾拉斑系列，中等—低含量钾钙碱性系列，轻稀土含量与重稀土含量近乎相等，稀土总含量低于上述裂谷</td></tr>
<tr><td rowspan="3">与俯冲作用有关的裂谷</td><td>Ⅴ. 弧后裂谷</td><td>东海盆地
西湖盆地</td><td>$Ⅳ_1$ 以安山岩、英安岩为主，低钾钙碱性系列，轻稀土含量稍高或与重稀土近乎相等，稀土总含量低</td></tr>
<tr><td>Ⅵ. 低角度俯冲，耦合程度高的弧后大陆内裂谷</td><td>潘农盆地（N_1—N_2）
松辽盆地（J_3—K_1）</td><td>$Ⅳ_2$ 以中性安山岩为主，高钾钙碱性系列和钾玄岩，轻稀土含量富集和稀土总含量比弧后裂谷高</td></tr>
<tr><td>Ⅶ. 高角度俯冲，耦合程度低的被动大陆裂谷</td><td>潘农盆地（N_2—Q）
辽河坳陷（E）</td><td>$Ⅳ_3$ 基性玄武岩，未见长英质岩石。碱性和大陆拉斑系列，轻稀土含量富集和稀土总含量比弧后大陆裂谷还要高</td></tr>
</table>

六、小结

（1）不同构造背景所形成的裂谷盆地的火山岩无论在其形成的时代，还是在其岩石学特征上，均具有各自的特色，它们是分析裂谷盆地形成机制的重要依据。

（2）大洋裂谷火山岩以深海拉斑玄武岩为主要类型，并以具低含量的大离子半径亲石元素、缺乏轻稀土元素（LREE）为特色。大部分大洋拉斑玄武岩以其低压流体状态的橄榄石、斜长石和钙辉石所饱和，这表明它们在喷出到洋底之前遭受过一些结晶分异作用。

（3）大陆裂谷火山岩在裂谷的演化过程中表现铁镁质岩浆碱性程度低和大陆拉斑玄武岩增加，这是由于在岩石圈减薄的过程中，来源于软流圈的熔融物增加的缘故。与走滑断层有关的裂谷盆地，其火山岩主要由不同程度不饱和 SiO_2 的基性碱性岩所组成。

（4）岛弧火山岩主要是安山岩，成分范围可从玄武岩到流纹岩，其特征是斑状的斜长石斑晶要比含铁镁质相显著，并且存在着一系列从低钾拉斑岩至高钾钙碱性组合。当低钾拉斑系列岩石和中钾、高钾钙碱性系列岩石共生时，低钾岩石一般较老，高钾岩石则较新。

（5）弧后裂谷火山岩存在着 3 种成因类型：①与剪切带的大型走滑有关的早中新世酸性火山岩；②与俯冲大洋板块有关的中中新世—上新世碱性火山岩；③与构造再活动和最新隆起有关的上新世—更新世碱性玄武质火山岩。

（6）**东北地区中生代火山岩始于晚三叠世**（T_3），**止于晚白垩世**（K_2），**晚侏罗世—早白垩世最强烈，火山岩呈北北东向展布，从东南向西北具有** 4 **条明显的火山岩分布带。东北地区是我国东部新生代火山活动最早、结束最晚的地区，主要沿北北东向断裂带分布，从东向西可分为** 6 **条火山岩带。**

（7）**新生代玄武岩岩浆携带上地幔岩包裹体的大量喷发是岩石圈发生破裂的重要证据。松辽盆地晚侏罗世—早白垩世火山岩和第三纪依兰—伊通火山岩与** CRP **中中新世—上新世和上新世—第四纪火山岩相似，分别属于弧后大陆内裂谷和大陆内被动裂谷。**

（8）**东北地区新生代火山岩的岩石系列为碱性玄武岩系列和拉斑玄武岩系列，而无钙碱性火山岩系列和钾玄武岩系列。岩石类型主要为碧玄岩、粗面玄武岩、响岩质碱玄岩和玄武岩，东北地区新生代火山岩的岩石系列和类型均表明它们与俯冲作用的火山岩明显不同，而且有大陆裂谷型火山岩的特征。**

参考文献

王涛等.1997. **中国东部裂谷盆地油气藏地质．北京：石油工业出版社**

西村敬一.1987. **亚洲大陆东缘地区中生代以后构造运动的性质．北京：地质出版社**

吴利仁等.1982. **中国东部中生代火山岩．地质学报**，56（3），223—234

张勤文等.1982. **中国东部中、新生代构造—岩浆活动史．地质学报**，（2），111—122

翁世劫等.1983. **中国东南部侏罗—白垩纪板块构造运动与相关的岩浆活动．地质学报**，47（2），199—127

Dewey J F. 1988. Extensional collapse of orogens. Tectoniss，Vol. 7，No. 6，1123—1139

Irving T N，*et al*. 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks，Canada. J. Earth Sci. 7，8，523—548

Thompson R N，*et al*. 1984. An assessment of the relative role of crust and mantle in magma genesis：An elemental approch. Phil Trans. R. Sci. lond.，A310，549—490